



**TUGAS AKHIR - MN141581**

**ANALISIS GERAKAN KAPAL TERHADAP *DECK WETNESS* DAN *BOTTOM SLAMMING*: STUDI KASUS KAPAL FERRY RO-RO 500 GT**

**Deanissa Safiraa  
NRP. 4113 100 083**

**Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**



---

**TUGAS AKHIR - MN141581**

**ANALISIS GERAKAN KAPAL TERHADAP *DECK WETNESS* DAN *BOTTOM SLAMMING*: STUDI KASUS KAPAL FERRY RO-RO 500 GT**

**Deanissa Safiraa**  
**NRP. 4113 100 083**

**Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN**  
**Fakultas Teknologi Kelautan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2017**



---

**FINAL PROJECT - MN141581**

**ANALYSIS OF SHIP MOTION AGAINST DECK WETNESS  
AND BOTTOM SLAMMING: CASE STUDY FERRY RO-RO  
500 GT**

**Deanissa Safiraa  
NRP. 4113 100 083**

**Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

# **ANALISIS GERAKAN KAPAL TERHADAP *DECK WETNESS* DAN *BOTTOM SLAMMING*: STUDI KASUS KAPAL FERRY RO-RO 500 GT**

### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika  
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**DEANISSA SAFIRAA**  
NRP. 4113 100 083

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



**Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.**  
NIP. 19691231 200604 1 178

**SURABAYA,      JANUARI 2017**

## LEMBAR REVISI

# **ANALISIS GERAKAN KAPAL TERHADAP *DECK WETNESS* DAN *BOTTOM SLAMMING*: STUDI KASUS KAPAL FERRY RO-RO 500 GT**

### **TUGAS AKHIR**

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 12 Januari 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika  
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**DEANISSA SAFIRAA**  
NRP. 4113 100 083

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I. K. A. Pria Utama, M.Sc., Ph.D. ....
2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T. ....
3. Totok Yulianto, S.T., M.T. ....



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir:

Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc. ....

SURABAYA,      JANUARI 2017

Didedikasikan kepada Papa (Teguh Widodo, S.E.), Mama (Ir. Marijatoel Kittijah, M.T.) dan adik-adikku (Fara, Angga, Ignaz) tercinta atas segala dukungan dan doanya



## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat, hidayah, dan petunjuk-NYA, sehingga dapat terselesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Gerakan Kapal terhadap *Deck Wetness* dan *Bottom Slamming*: Studi Kasus Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT”. Selesaiannya Tugas Akhir ini juga tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT
2. Papa, Mama dan adik yang telah memberikan dorongan, bantuan, dan bimbingan selama ini
3. Bapak Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasihat kepada penulis.
4. Ibu Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran selama masa perkuliahan kepada penulis.
5. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS
6. Dosen-dosen Jurusan Teknik Perkapalan yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
7. Bapak Alfian dan Bapak Bagus selaku *surveyor* BKI yang membantu proses pengumpulan data.
8. Teman-teman angkatan 2013 (Submarine) atas pertemanannya selama masa perkuliahan.
9. Wisnu Murti Dananjaya yang telah menyemangati kuliah saya selama ini, serta Dilla, Icak, Shakina dan Dina atas persahabatannya selama ini.
10. Keluarga besar HIMATEKPAL ITS serta berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis satu per satu.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan tugas ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdapat banyak kekurangan oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Besar harapan penulis bahwa laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat yang seluas luasnya bagi banyak pihak.

Surabaya, Januari 2017

Deanissa Safiraa

# **ANALISIS GERAKAN KAPAL TERHADAP *DECK WETNESS* DAN *BOTTOM SLAMMING*: STUDI KASUS KAPAL FERRY RO-RO 500 GT**

Nama Mahasiswa : Deanissa Safiraa  
NRP : 4113 100 083  
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

## **ABSTRAK**

*Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui probabilitas deck wetness, probabilitas bottom slamming serta besarnya akselerasi vertical dan bottom pressure. Pengecekan besar nilai-nilai tersebut dilakukan pada empat kondisi sea state yaitu (1) sea state 3 dengan tinggi gelombang signifikan: 1.43 m, (2) sea state 4 dengan tinggi gelombang signifikan: 2.01 m, (3) sea state 5 dengan tinggi gelombang signifikan: 3.20 m dan (4) sea state 6 dengan tinggi gelombang signifikan: 4.36 m. Analisis Response Amplitude Operator (RAO) dan bottom pressure dilakukan menggunakan software Ansys Aqwa dengan membuat pemodelan keseluruhan kapal, lalu dilakukan perhitungan numeris untuk menentukan probabilitas deck wetness, bottom slamming, dan besarnya akselerasi vertical berdasarkan Bhattacharyya (1978). Dari hasil analisis tersebut didapatkan probabilitas deck wetness 0.009 untuk kondisi (1), 0.317 untuk kondisi (2), 0.668 untuk kondisi (3), 0.771 untuk kondisi (4). Dari hasil analisis tersebut juga didapatkan probabilitas bottom slamming 0.000 untuk kondisi (1), 0.000 untuk kondisi (2), 0.003 untuk kondisi (3), 0.022 untuk kondisi (4). Untuk bottom pressure didapatkan hasil 20482 Pa untuk kondisi (1), 28757 Pa untuk kondisi (2), 45737 Pa untuk kondisi (3), 62302 Pa untuk kondisi (4). Untuk akselerasi vertikal didapatkan hasil 0.01g untuk kondisi (1), 0.09g untuk kondisi (2), 0.17g untuk kondisi (3), 0.21g untuk kondisi (4), dimana g adalah percepatan gravitasi. Nilai bottom pressure kapal pada kondisi (1) sampai (3) memenuhi regulasi BKI untuk design bottom slamming pressure yaitu 43305.274 Pa, sedangkan pada kondisi (4) sudah tidak memenuhi. Nilai akselerasi vertical maksimal menurut IMO untuk kapal ferry adalah 0.15g sehingga diketahui bahwa kapal dapat berlayar sampai maksimal kondisi (2), sedangkan pada kondisi (3) dan (4) sudah melebihi batas maksimal.*

*Kata Kunci: Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT, Deck Wetness, Bottom Slamming, Akselerasi Vertikal, Bottom Pressure.*



# **ANALYSIS OF SHIP MOTION AGAINST DECK WETNESS AND BOTTOM SLAMMING: CASE STUDY FERRY RO-RO 500 GT**

Author : Deanissa Safiraa  
ID Number : 4113 100 083  
Dept. / Faculty : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Supervisor : Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

## **ABSTRACT**

*This final project aims at obtaining the probability of deck wetness, the probability of bottom slamming, also the value of vertical acceleration and the value of bottom pressure. The values are checked at four condition of sea state, namely (1) sea state 3 with significant wave height of 1.43 m, (2) sea state 4 with significant wave height of 2.01 m, (3) sea state 5 with significant wave height of 3.20 and (3) sea state 6 with significant wave height of 4.36 m. Analysis of Response Amplitude Operator (RAO) and bottom pressure is done using Ansys Aqwa software, then numerical calculation is performed to get the probability of deck wetness, the probability of bottom slamming and the value of vertical acceleration based on Bhattacharyya (1978). The analysis shows that the probability of deck wetness is 0.009 for condition (1), 0.317 for condition (2), 0.668 for condition (3), 0.771 for condition (4). The analysis also shows that the probability of bottom slamming is 0.000 for condition (1), 0.000 for condition (2), 0.003 for condition (3), 0.022 for condition (4). For bottom pressure. For bottom pressure the result is 20482 Pa for condition (1), 28757 Pa for condition (2), 45737 Pa for condition (3) and 62302 Pa for condition (4). For vertical acceleration the result is 0.01g for condition (1), 0.09g for condition (2), 0.17g for condition (3) and 0.21g for condition (4), where g is the gravitational acceleration. The values of bottom pressure for condition (1) to (3) comply with the regulation of BKI for design bottom slamming pressure which is 43305.274 Pa, while for condition (4) has exceed the maximum value. The values maximum vertical acceleration according to IMO for ferry is 0.15g so it is observed that condition (1) and (2) complies to the IMO regulation, while condition (3) and (4) has exceed the maximum value.*

**Keyword :** Ferry Ro-Ro 500 GT, Deck Wetness, Bottom Slamming, Vertical Acceleration, Bottom Pressure.

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Pendahuluan .....	1
1.2 Latar Belakang Masalah.....	1
1.3 Perumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Tujuan.....	3
1.6 Manfaat.....	3
1.7 Hipotesis.....	3
BAB II.....	5
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Pendahuluan .....	5
2.2 Kapal Ferry Ro-Ro .....	5
2.3 Gelombang Laut .....	6
2.4 Spektrum Gelombang.....	8
2.5 Deck Wetness.....	9
2.6 Bottom Slamming .....	11
2.7 Seakeeping .....	14
2.8 Response Amplitude Operator (RAO) .....	15
2.9 Respons Struktur pada Gelombang Irreguler .....	15
2.10 Sea State .....	16
BAB III .....	19
METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Pendahuluan .....	19
3.2 Diagram Alir .....	19

3.3 Tahap-tahap Pengerjaan Tugas Akhir .....	20
3.3.1 Studi Literatur.....	20
3.3.2 Data Kapal .....	21
3.3.3 Ansys Aqwa.....	23
3.3.4 Pemodelan Lambung Kapal.....	24
3.3.5 Perhitungan RAO .....	25
3.3.6 Perhitungan Deck Wetness dan Bottom Slamming.....	25
3.3.7 Perhitungan <i>Bottom Pressure</i> dan Akselerasi Vertikal .....	25
3.4 Spesifikasi Komputer .....	26
3.5 Analisa Respons .....	26
3.5 Kesimpulan dan Saran.....	26
BAB IV .....	27
PEMODELAN LAMBUNG KAPAL .....	27
4.1 Pendahuluan .....	27
4.2 Pembuatan Model Lambung Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT dengan menggunakan <i>software</i> Maxsurf.....	27
4.3 Pemodelan Lambung Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT dengan menggunakan <i>software</i> Ansys Aqwa .....	28
4.3.1 Proses Geometri.....	28
4.3.2 Proses Model .....	31
BAB V .....	37
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
5.1 Pendahuluan .....	37
5.2 Validasi RAO <i>Box</i> Ansys Aqwa dengan RAO <i>Box</i> WAMIT .....	37
5.3 RAO Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT .....	42
5.4 Spektrum Gelombang.....	43
5.5 Relative Bow Motion Spectrum.....	45
5.6 Relative Vertical Velocity Spectrum.....	47
5.7 Vertical Acceleration Spectrum .....	48
5.8 Deck Wetness.....	50
5.9 Bottom Slamming .....	51
5.10 Bottom Pressure .....	51
5.11 Analisis <i>Freeboard</i> .....	53
5.12 Efek Dinamis.....	56
BAB VI.....	57

KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
6.1 Kesimpulan.....	57
6.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA .....	59
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal Ferry Ro-Ro.....	6
Gambar 2.2 Gelombang reguler.....	7
Gambar 2.3 Gelombang irreguler .....	7
Gambar 2.4 Penjumlahan 2 gelombang sinusoidal.....	8
Gambar 2.5 Wave spectrum ITTC.....	9
Gambar 2.6 Deck wetness pada kapal .....	11
Gambar 2.7 Bottom Slamming pada kapal .....	14
Gambar 2.8 Derajat bebas kapal terapung .....	14
Gambar 3.1 Linesplan Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT.....	21
Gambar 3.2 Ukuran Utama Kapal .....	21
Gambar 3.3 Lambung kapal dibagi dalam panel-panel .....	24
Gambar 4.1 Lambung Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT pada Maxsurf .....	27
Gambar 4.2 Import Geometri Eksternal.....	29
Gambar 4.3 Tahap Translate pada Ansys Aqwa.....	30
Gambar 4.4 Menu Input Slice .....	30
Gambar 4.5 Geometri Kapal pada Ansys Aqwa .....	31
Gambar 4.6 Detail Menu Point of Mass .....	32
Gambar 4.7 Detail Menu Point of Bouyancy.....	32
Gambar 4.8 Detail Menu Wave Direction .....	33
Gambar 4.9 Detail Menu Wave Frequency .....	33
Gambar 4.10 Detail Menu Mesh.....	34
Gambar 4.11 Meshing pada Kapal Ferry .....	34
Gambar 5.1 <i>Meshing</i> pada box .....	38
Gambar 5.2 Perbandingan RAO Surge antara Aqwa dan WAMIT .....	39
Gambar 5.3 Perbandingan RAO Sway antara Aqwa dan WAMIT .....	39
Gambar 5.4 Perbandingan RAO Heave antara Aqwa dan WAMIT .....	40
Gambar 5.5 Perbandingan RAO Roll antara Aqwa dan WAMIT .....	40
Gambar 5.6 Perbandingan RAO Pitch antara Aqwa dan WAMIT .....	41
Gambar 5.7 Perbandingan RAO Yaw antara Aqwa dan WAMIT.....	41
Gambar 5.8 RAO Heave Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT .....	42
Gambar 5.9 RAO Pitch Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT.....	43

Gambar 5.10 Wave Spektrum Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT.....	44
Gambar 5.11 Encounter Wave Spektrum Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT .....	45
Gambar 5.12 Relative Bow Motion Spectrum Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT .....	46
Gambar 5.13 Relative Bow Velocity Spectrum Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT .....	47
Gambar 5.14 Vertical Acceleration Spectrum Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT .....	49
Gambar 5.15 Perhitungan <i>design bottom slamming pressure</i> .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persamaan <i>Response Amplitude Operator</i> (RAO).....	15
Tabel 2.2 <i>Sea State</i> (Bhattacharyya, 1978).....	17
Tabel 3.1 Tabel Hidrostatik Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT .....	22
Tabel 4.1 Tabel Validasi Hidrostatik .....	28
Tabel 4.2 Luasan RAO Heave dari masing-masing Grid Mesh .....	35
Tabel 4.3 Luasan RAO Pitch dari masing-masing Grid Mesh .....	35
Tabel 5.1 Luasan Spektrum <i>Relative Bow Motion</i> .....	47
Tabel 5.2 Momen Kedua dari Spektrum Relative Bow Motion .....	48
Tabel 5.3 Momen keempat Spektrum Relative Bow Motion .....	50
Tabel 5.4 Probabilitas <i>Deck Wetness</i> .....	50
Tabel 5.5 Probabilitas <i>Bottom Slamming</i> .....	51
Tabel 5.6 <i>Bottom Pressure</i> Kapal Ferry Ro-Ro .....	52
Tabel 5.7 Impuls kapal ferry ro-ro 500 GT.....	56



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Pendahuluan

Bab pendahuluan menjelaskan gambaran umum penelitian yang dikerjakan terkait dengan analisa gerakan kapal terhadap *deck wetness* dan *bottom slamming*: studi kasus kapal ferry ro-ro 500 GT, termasuk alasan yang melatar belakangi dipilihnya tema, tujuan, manfaat, hipotesis dan batasan masalah yang diambil. Paparan pada Bab ini akan menjadi dasar untuk merumuskan dasar teori yang digunakan pada Bab II dan metodologi Bab III.

### 1.2 Latar Belakang Masalah

Indonesia memiliki wilayah laut yang luas dengan kondisi perairan yang berbeda-beda. Kondisi laut yang berbeda-beda ini dikelompokkan menjadi beberapa tingkatan yang disebut sea state. Sea state adalah kondisi laut yang meliputi besarnya kecepatan angin, ketinggian gelombang, panjang gelombang dan periode gelombang. Skala sea state adalah 0 sampai 9. Semakin meningkat kondisi sea state maka semakin meningkat pula kondisi laut.

Suatu kapal yang berlayar, dalam operasinya sangat dipengaruhi oleh kondisi laut terutama besar kecilnya gelombang. Salah satu contohnya adalah Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT. Gerakan kapal akibat gelombang sangat perlu diperhitungkan dalam tahap awal desain. Hal itu akan lebih menjamin keselamatan kru dan kargo mengingat banyaknya insiden kapal akibat cuaca buruk. Kapal Ferry 500 GT yang dikerjakan oleh PT. Daya Radar Utama Jakarta saat ini sedang dalam tahap pengerjaan sehingga perlu diketahui gerakan kapal terhadap gelombang dengan menghitung peluang terjadinya deck wetness dan bottom slamming. Dengan prediksi gerakan yang baik maka efisiensi dan nilai guna kapal yang diperlukan dapat ditingkatkan dalam rangka persaingan di bisnis pelayaran mengingat kapal adalah barang modal yang harganya tinggi.

Gerakan kapal yang akan dibahas dan dihitung adalah deck wetness dan bottom slamming. Deck wetness adalah peristiwa naiknya air laut ke atas dek yang akan menyebabkan beban impact pada sekat depan, orang dan barang terlempar ke laut dan ABK tidak bisa bekerja sebagaimana mestinya. Disamping itu juga dapat menyebabkan gangguan atau bahkan kerusakan pada peralatan. Selain itu, akan dibahas dan dihitung juga mengenai bottom

slamming yang merupakan kejadian haluan kapal membentur air laut. slamming adalah kejadian yang sangat berbahaya karena pada bagian tersebut mengalami gaya impact. Gaya impact tersebut dapat membahayakan konstruksi badan kapal karena adanya beban dinamik yang besar dan berulang sehingga menyebabkan fatigue. Jika frekuensi beban tersebut sama dengan frekuensi natural kapal maka akan timbul resonansi yang akan menimbulkan gaya yang lebih besar yang akan merusak bangunan kapal.

Prediksi deck wetness ini dilakukan dengan menghitung gerakan heave dan pitch dengan persamaan *relative bow motion* gabungan pada gelombang irregular dengan sudut hadap yang telah ditentukan yaitu  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  dan  $180^\circ$ . Koefisien hidrodinamis pada perhitungan ini dengan pembacaan grafik yang kemudian divalidasikan dengan perhitungan berdasarkan rumus.

### 1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menghitung probabilitas terjadinya *deck wetness* dan *bottom slamming*?
2. Bagaimana menghitung *bottom pressure* dan percepatan vertikal?
3. Bagaimana mengetahui *sea state* maksimum kapal untuk berlayar?

### 1.4 Batasan Masalah

Agar penyusunan tugas akhir ini dapat lebih terarah, maka diberikan batasan-batasan masalah pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Perhitungan *deck wetness* dan *bottom slamming* ini adalah untuk Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT milik kementerian perhubungan yang dibangun di PT. Daya Radar Utama Jakarta.
2. Kondisi gelombang dianggap irregular (tidak beraturan), *wave spectrum* yang digunakan adalah berdasarkan ITTC.
3. Perhitungan untuk kapal saat mengalami gerakan *coupled heaving* dan *pitching* yang merupakan gerakan dominan.
4. Perhitungan gerakan kapal dilakukan menggunakan Ansys Aqwa.
5. Dihitung dengan sudut datang  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$ .
6. Perairan dianggap sebagai perairan dalam sehingga efek kedalamannya dapat diabaikan.

## 1.5 Tujuan

Tujuan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui probabilitas deck wetness dan bottom slamming.
2. Untuk mengetahui besarnya bottom pressure dan akselerasi vertikal.
3. Untuk mengetahui pada maksimal sea state berapa kapal dapat berlayar.

## 1.6 Manfaat

Karena Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT yang dibangun di PT. Daya Radar Utama Jakarta ini masih dalam tahap pembangunan sehingga jika terjadi masalah terhadap olah gerak kapal masih bisa dilakukan perbaikan. Jika kapal tersebut telah memenuhi standart deck wetness dan bottom slamming yang disyaratkan maka akan dapat diketahui daerah pengoperasiannya.

## 1.7 Hipotesis

Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT ini berlayar di perairan maluku dengan perkiraan tinggi maksimum tinggi gelombang menurut BMKG adalah 2,5 meter sehingga diperoleh hipotesa bahwa kapal masih mampu beroperasi pada *sea state* 4 (tinggi gelombang 2,012 meter), sedangkan pada *sea state* 5 (tinggi gelombang 3,200 meter) besarnya gerak kapal sudah tidak memenuhi regulasi yang berlaku.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Pendahuluan

Sebelumnya, pada Bab I, telah diuraikan mengenai lingkup pekerjaan penelitian ini. Untuk merealisasikannya secara ilmiah, diperlukan kajian ilmu yang sudah ada dari berbagai macam referensi, baik dari referensi sebelumnya maupun dari teori yang berkembang saat ini. Pada Bab II ini dituliskan pemahaman teori tentang analisa gerak kapal ferry ro-ro 500 GT terhadap *deck wetness* dan *bottom slamming*, teori dasar gelombang laut dan spektrum gelombang, teori dasar *seakeeping*, teori dasar *response amplitude operator* (RAO), dan teori dasar *sea state*, serta *software* Ansys Aqwa yang digunakan untuk mencari RAO. Lebih lanjut uraian Bab ini akan digunakan sebagai acuan untuk menyusun metodologi Bab III dan mendukung analisa hasil pada Bab IV dan Bab V.

#### 2.2 Kapal Ferry Ro-Ro

Kapal Ferry adalah kapal yang berfungsi memuat penumpang dan kendaraan. Feri mempunyai peranan penting dalam sistem pengangkutan bagi banyak kota pesisir pantai, membuat transit langsung antar kedua tujuan dengan biaya lebih kecil dibandingkan jembatan atau terowong. Ferry juga digunakan untuk angkutan. Kapal ferry biasanya beroperasi dengan rute antar pulau dalam jarak yang dekat (<http://julianagusirwanto.blogspot.co.id>).

Kapal Ro-Ro (*Roll on/Roll off*) adalah kapal yang dilengkapi dengan pintu rampa yang dapat dibuka dan berfungsi sebagai jembatan landai yang menghubungkan kapal dengan dermaga, sehingga kendaraan bermotor dapat masuk dan keluar dengan mudah. Pintu rampa tersebut terletak pada bagian haluan dan buritan.



Gambar 2.1 Kapal Ferry Ro-Ro

(sumber: <http://isb.indonesianshipbroker.com>)

### 2.3 Gelombang Laut

Kapal yang bergerak di laut dipengaruhi oleh gaya-gaya dari luar antara lain berupa gaya gelombang, gaya arus air, dan gaya angin. Untuk memprediksi gerakan kapal yang dipengaruhi semua hal diatas adalah sangat kompleks, karena itu diperlukan penyederhanaan dengan beberapa asumsi sehingga permasalahan dapat lebih sederhana dan dapat dicari penyelesaiannya. Untuk tugas akhir ini diasumsikan hanya gelombang laut yang mempengaruhi gerakan kapal, sedangkan yang lainnya diabaikan.

Gelombang di laut kenyataannya mempunyai bentuk dan sifat yang kompleks, tetapi untuk perhitungan ilmiah dilakukan pendekatan untuk menggambarkan sifat dari gelombang tersebut. Gelombang mempunyai sifat yang berbeda untuk perairan dalam dan dangkal. Terdapat dua macam gelombang yaitu gelombang reguler dan gelombang irreguler.

Gelombang reguler merupakan gelombang dengan periode tunggal, sehingga gelombang ini juga mempunyai spektrum tunggal. Sedangkan gelombang irreguler merupakan gelombang superposisi dari beberapa gelombang reguler yang mempunyai frekuensi dan tinggi gelombang berbeda (Fatnanta, 2009).

Gelombang diasumsikan di perairan dalam sehingga pengaruh dasar tidak terjadi. Selain itu lebar perairan tak terbatas sehingga pengaruh sisi perairan kecil. Beberapa rumus dasar gelombang harmonik antara lain (Bhattacharya, 1978) :

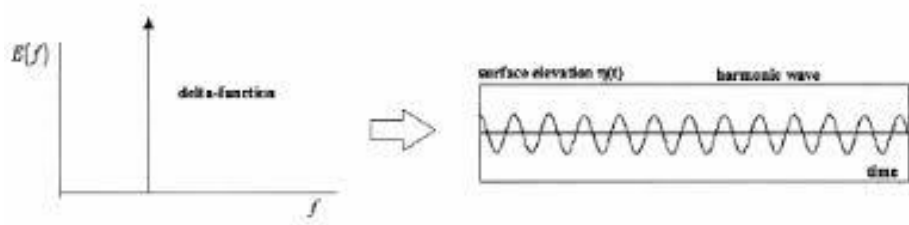
$$L_w = \frac{2\pi}{g} V_w^2 = \frac{2\pi g}{\omega_w^2} = \frac{g T_w^2}{2\pi}$$

$$k = \frac{2\pi}{L_w}$$

$$T_w = \left( \frac{2\pi L_w}{g} \right)^{1/2}$$

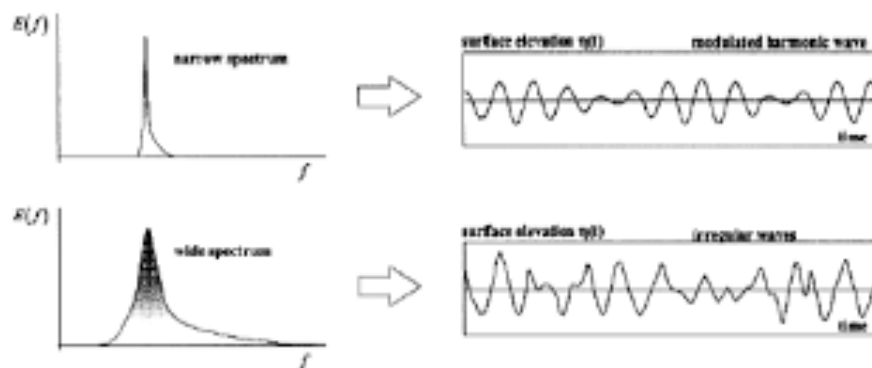
Dimana,

$L_w$  = Panjang gelombang  
 $V_w$  = Kecepatan gelombang  
 $T_w$  = Periode gelombang  
 $\omega_w$  = Frekuensi gelombang  
 $k$  = *Wave number*  
 $g$  = Percepatan gravitasi



Gambar 2.2 Gelombang reguler

(Fatnanta, 2009)



Gambar 2.3 Gelombang irregular

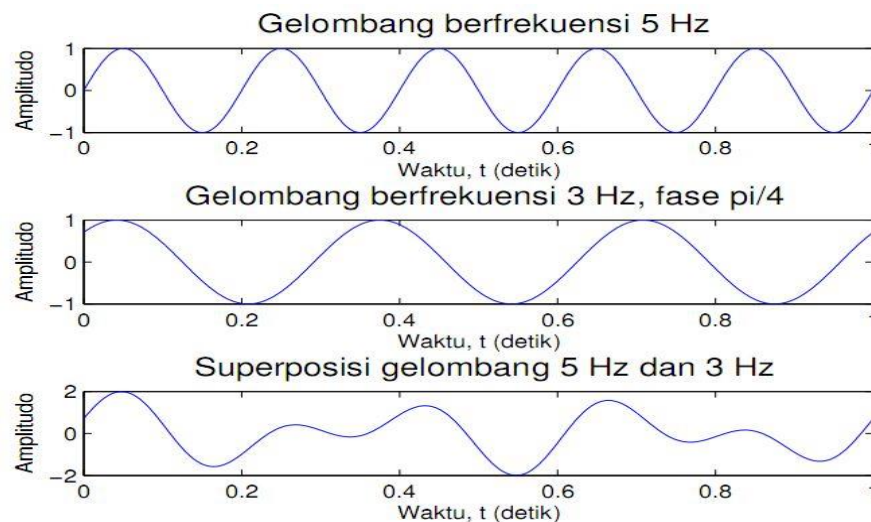
(Fatnanta, 2009)



## 2.4 Spektrum Gelombang

Pola gelombang irreguler dapat dihasilkan jika sejumlah gelombang sinusoidal dengan panjang gelombang dan tinggi yang berbeda digabungkan. Gelombang hasil penggabungan tidak menunjukkan pola yang pasti untuk ketinggian gelombang, panjang gelombang, ataupun periode gelombang (Bhattacharya, 1978).

Penggabungan beberapa gelombang sinusoidal tidak hanya menghasilkan gelombang irreguler, tetapi juga pola gelombang tidak pernah terulang dari satu waktu ke waktu lain. Namun, ada satu cara untuk memperhitungkan gelombang irreguler yaitu dengan menentukan total energi. Hal ini diperoleh dengan menjumlahkan energi dari semua gelombang reguler yang menghasilkan gelombang irreguler dengan superposisi.



Gambar 2.4 Penjumlahan 2 gelombang sinusoidal

(sumber: wendiferdintania.wordpress.com)

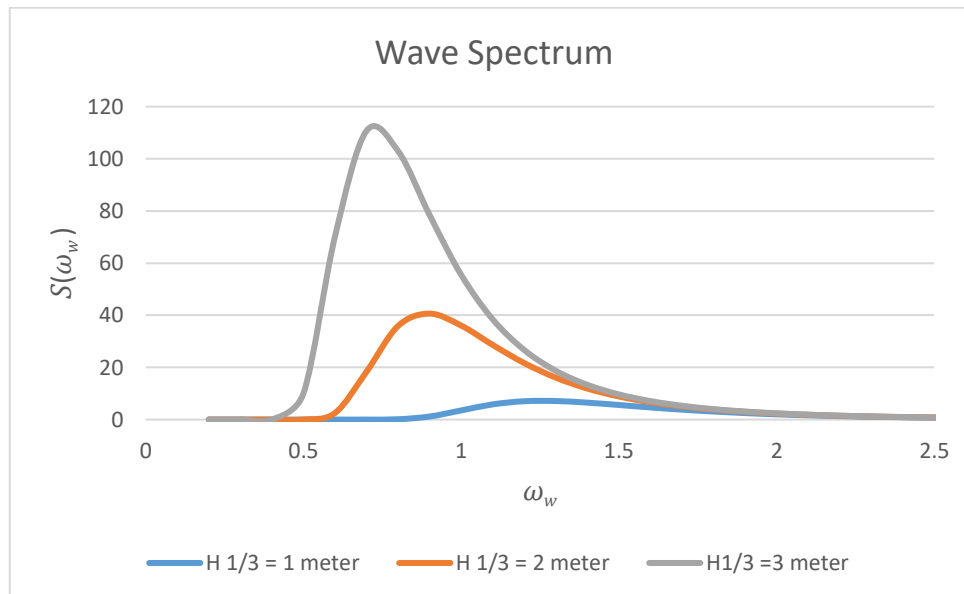
Pada tugas akhir ini digunakan *wave spectrum* dari *International Towing Tank Conference* (ITTC). Rumus dari spektrum dapat dituliskan sebagai berikut (Bhattacharya, 1978):

$$S(\omega_w) = \frac{A}{\omega_w^5} e^{-B/\omega_w^4}$$

Dimana,

$$A = 8.10 \times 10^{-3} \text{ g}^2$$

$g$  = percepatan gravitasi  
 $\omega_w$  = frekuensi gelombang  
 $B = 3.11 \times 10^4 / H_{1/3}^2$   
 $H_{1/3}$  = significant wave height



Gambar 2.5 Wave spectrum ITTC

## 2.5 Deck Wetness

Pada cuaca yang ekstrim seperti badai, gelombang dan gerakan kapal dapat menjadi begitu besar sehingga air dapat masuk ke dek. Permasalahan tersebut dikenal sebagai *deck wetness* atau *green water loading*. Istilah *green water* digunakan untuk membedakan antara semprotan (sejumlah kecil air dan busa) yang mengenai dek dan air laut yang benar-benar berada di dek. Karena air laut lebih berwarna hijau daripada biru, maka istilah *green water* banyak digunakan.

*Deck wetness* dapat menyebabkan kerusakan pada perlengkapan kapal yang terdapat di *forecastle* dan pada kondisi yang parah dapat menyebabkan kapal terbalik. Ada beberapa cara untuk mengurangi *deck wetness*, yaitu menambah freeboard, mengurangi kecepatan, dan mengubah arah relative kapal terhadap gelombang utama (Iswara, 2014).

Probabilitas *deck wetness* atau *greenwater* dihitung dengan persamaan (Bhattacharya, 1978) :

$$P\{s \geq f'(l)\} = e^{-f'(l)^2/2m_o}$$

Dimana,

$f'$  = *Freeboard* efektif  
 $m_o$  = Luasan di bawah *response spectrum*

Persamaan tersebut dapat diinterpretasikan sebagai berapa kali kapal mengalami *deck wetness* pada saat melaju di atas N siklus gelombang acak yang terjadi dalam operasi selama T jam.

Untuk menghitung intensitas *deck wetness* per jam dapat menggunakan persamaan (Bhattacharya, 1978) :

$$N_T = \frac{\text{Peluang deck wetness}}{\text{Periode rata - rata}} \times 3600 = \frac{P_T}{T} \times 3600$$

Dimana,

$N_T$  = jumlah kejadian *deck wetness* dalam 1 jam.  
 $P_T$  = peluang kejadian *deck wetness*.  
 $T$  = periode gelombang (dapat diasumsikan  $T_o$ )

Dan untuk menghitung intensitas *deck wetness* setiap detik dapat menggunakan persamaan (Bhattacharya, 1978) :

$$N_W = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2m_{0R}}{2m_{2R}}} \times \text{peluang kejadian deck wetness}$$

Tekanan yang terjadi akibat adanya gelombang *deck wetness* juga dapat diperhitungkan menggunakan persamaan (Bhattacharya, 1978) :

$$P_{wet} = \frac{F_{wet}}{L_{wet} \times B_b}$$
$$F_{wet} = A_{wet} \times B_b \times 1.025 \times a_r$$

Dimana,

$P_{wet}$  = tekanan deck ( $\text{kN/m}^2$ )

$F_{wet}$  = gaya *deck wetness* di atas deck (kN)

$L_{wet}$  = panjang area *deck wetness* (m)

$B_b$  = lebar area *deck wetness* (m)

$A_{wet}$  = luas air yang masuk ke deck ( $\text{m}^2$ )

$a_r$  = percepatan vertikal relatif ( $\text{m/s}^2$ )



Gambar 2.6 Deck wetness pada kapal

(sumber: brookesbell.com)

## 2.6 Bottom Slamming

*Bottom slamming* telah diketahui selama bertahun-tahun sebagai penyebab kerusakan pada kapal. Fenomena tersebut terjadi ketika bagian alas haluan kapal muncul dari air dan kemudian tenggelam. Kejadian ini menghasilkan gaya yang besar untuk durasi waktu yang singkat. Impuls yang dihasilkan dapat menyebabkan getaran pada seluruh kapal hingga kapal harus mengurangi kecepatan atau mengubah arah yang berakibat pada kapal tidak berjalan sesuai jadwal dan menyebabkan kerugian.

*Slamming* kecil atau sedang juga telah diketahui sebagai penyebab *buckling* lokal dan deformasi pada pelat alas bagian haluan kapal. Deformasi tersebut menambah biaya perawatan dan reparasi kapal. *Slamming* parah menghasilkan impuls yang besar yang menyebabkan

seluruh kapal mengalami gerak getaran yang dapat bertahan hingga 1 menit. Ringkasnya, *slamming* dapat menghasilkan tegangan bending yang besar pada penumpu lambung, deformasi pada pelat alas dan sekat, kerusakan pada muatan, dan kehilangan atau kerusakan pada perlengkapan kapal (Putra, 2014).

Dalam perhitungan besarnya *bottom slamming*, pertama harus memperhitungkan peluang gerakan vertikal haluan relative lebih besar dari sarat air bagian haluan, atau secara matematis dituliskan (Bhattacharya, 1978) :

$$\Pr = \Pr(Z_{br} > T_b) = \exp \left( -\frac{T_b^2}{2m_{os}} \right)$$

Kedua, peluang kecepatan relatif vertikal haluan lebih besar dari kecepatan ambang batas *slamming*, atau secara matematis dituliskan (Bhattacharya, 1978) :

$$\Pr = \Pr(V_{br} > V_{th}) = \exp \left( -\frac{V_{br}^2}{2m_{2s}} \right)$$

Dengan demikian peluang terjadinya *slamming* adalah kombinasi kedua persamaan di atas, yang dituliskan (Bhattacharya, 1978) :

$$\Pr(\text{haluan terangkat}) = \Pr(Z_{br} > T_b \text{ dan } V_{br} > V_{th}) = \exp \left( -\frac{T_b^2}{2m_{os}} - \frac{V_{br}^2}{2m_{2s}} \right)$$

Dimana,

$Z_{br}$  = Gerakan relatif vertikal haluan

$V_{br}$  = Kecepatan relatif haluan

$V_{th}$  = Kecepatan ambang

$T_b$  = Sarat pada haluan

$m_{os}$  = Luasan dari spektrum untuk *relative bow motion*

$m_{2s}$  = Luasan dari spektrum respon *relative bow velocity*

Persamaan tersebut dapat diinterpretasikan sebagai berapa kali kapal mengalami *slamming* pada saat melaju di atas N siklus gelombang acak yang terjadi selama T jam.

Untuk menghitung intensitas *slamming* per jam dapat menggunakan persamaan (Bhattacharya, 1978) :

$$N_T = \frac{3600xT}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2s}}{m_{os}}} \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{os}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2s}}\right) 1/det$$

Dimana,

$N_T$  = jumlah kejadian *slamming* selama 1 jam.

$T$  = periode gelombang (dapat diasumsikan sebagai  $T_0$ )

Dan untuk menghitung intensitas *slamming* setiap detik dapat menggunakan persamaan (Bhattacharya, 1978):

$$N_W = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2m_{os}}{2m_{2s}}} \times \text{Pr slamming}$$

Tekanan yang terjadi akibat adanya *slamming* juga dapat diperhitungkan, untuk menghitung besar tekanan *slamming* dapat menggunakan persamaan (Bhattacharya, 1978):

$$P = P_0 \left[ \frac{2}{\beta \sqrt{1 - (Y_s/2b)^2}} + \frac{2}{\delta} \sqrt{\left(1 - \frac{Y_s}{2b}\right)^2} - \frac{(Y_s/2b)^2}{1 - (Y_s/2b)^2} \right]$$

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho (Z_x)^2$$

$$\delta = \frac{(Z_x)^2}{2bZ_x}$$

Dimana,

$\beta$  = sudut *deadrise*

$2b$  = *modified beam*

$Z_x$  = kecepatan vertikal relatif pada jarak  $x$  dari *midship*

$\rho$  = massa jenis



Gambar 2.7 Bottom Slamming pada kapal

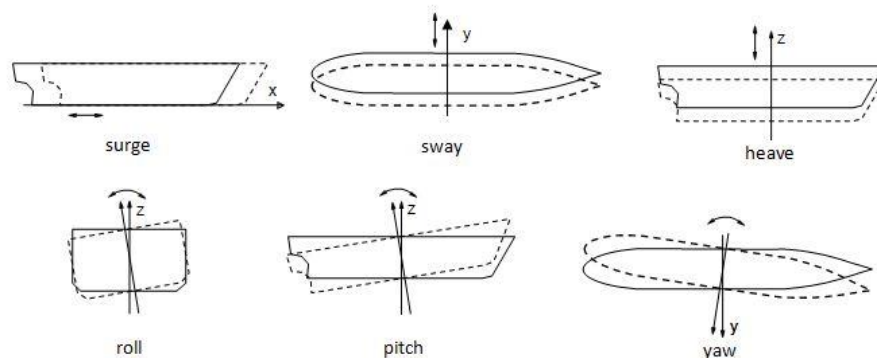
(sumber: knudehansen.com)

## 2.7 Seakeeping

Dalam mendesain sebuah kapal, terdapat banyak faktor yang perlu dipertimbangkan oleh seorang perancang kapal karena kondisi lautan yang tidak ramah pada saat-saat tertentu dapat mengakibatkan kapal tidak dapat melakukan aktivitas berlayarnya.

*Seakeeping* adalah kemampuan kapal untuk bernavigasi secara aman pada suatu kondisi lingkungan tertentu. Kapal dikatakan memiliki kemampuan *seakeeping* yang baik apabila kapal tersebut mampu beroperasi secara efektif pada kondisi laut yang desain.

Suatu kapal yang terapung bebas mempunyai 6 derajat bebas, yaitu 3 translasi ke arah sumbu X, Y dan Z serta 3 rotasi, memutar sumbu X, Y dan Z. Sistem sumbu yang dipakai: sumbu X pos ke arah haluan kapal, sumbu Y pos ke arah kiri (port) kapal dan sumbu Z pos ke arah atas.



Gambar 2.8 Derajat bebas kapal terapung

(Tahlil, 2005)



Masalah *seakeeping* meliputi gerak *heaving*, *pitching*, *surgings*, *yawing*, *swaying*, dan *rolling*. Pada kenyataannya, kapal di laut bebas dapat mengalami keenam gerakan sekaligus. Namun yang sering digunakan untuk menjadi bahan pertimbangan adalah gerak *heaving*, *pitching* dan *rolling*.

Terkait dengan gerakan (*motion*) kapal di laut, *output* perhitungan *motion in regular wave* adalah *RAO* (*Response Amplitude Operator*), yang merupakan perbandingan kuadrat antara amplitud gerak kapal dengan amplitud gelombang regular.

## 2.8 Response Amplitude Operator (RAO)

*Response Amplitude Operator* (RAO) juga disebut sebagai gerakan suatu struktur pada gelombang regular. RAO adalah fungsi dari amplitud gerak struktur terhadap amplitud gelombang (Chakrabarti, 1987). Banyak cara untuk mengetahui RAO, mulai dari tes menggunakan model di *towing tank*, pendekatan numerik maupun analitis baik secara manual ataupun menggunakan program tertentu. Secara matematis persamaan RAO dapat dituliskan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Persamaan *Response Amplitude Operator* (RAO)

No.	Gerakan	RAO
1	<i>Surge</i>	$x_a/\delta a$
2	<i>Sway</i>	$y_a/\delta a$
3	<i>Heave</i>	$z_a/\delta a$
4	<i>Roll</i>	$\Theta_a/\delta a$
5	<i>Pitch</i>	$\Theta_a/\delta a$
6	<i>Yaw</i>	$\phi_a/\delta a$

## 2.9 Respons Struktur pada Gelombang Irregular

Respons struktur pada gelombang irregular dapat dilakukan dengan mentransformasikan spectrum gelombang menjadi spectrum respons. Spektrum respons didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga kuadrat dari *Response Amplitude Operator* (RAO) dengan spectrum gelombang *encounter*. Persamaan respons secara matematis dapat dituliskan:

$$S_R = [RAO(\omega e)]^2 S(\omega e)$$

Dimana,

$S_R$  = Spektrum respons

$S(\omega_e)$  = Spektrum gelombang *encounter*

Spektrum gelombang *encounter* didapatkan dengan merubah spectrum gelombang dengan rumus:

$$\omega_e = \omega_\omega - \frac{\omega_\omega^2 v}{g} \cos \mu$$
$$S(\omega_e) = S(\omega_\omega) \frac{1}{[1 - (\frac{4\omega_e V}{g}) \cos \mu]^{0.5}}$$

Dimana,

$\omega_\omega$  = Frekuensi gelombang

$\omega_e$  = Frekuensi *encounter*

$S(\omega_e)$  = Spektrum *encounter*

$S(\omega_\omega)$  = Spektrum gelombang

$\mu$  = *Heading angle*

$V$  = Kecepatan kapal

$g$  = Percepatan gravitas

## 2.10 Sea State

Ketika kapal bergerak di laut maka gerakannya dipengaruhi oleh gaya-gaya yang bekerja dari luar antara lain gelombang, arus air, kedalaman dan luas perairan, angin, dan lain sebagainya. Keadaan tersebut dibedakan dalam berapa *sea state* dimana semakin tinggi *sea state* maka kondisi suatu perairan maka semakin meningkat pula kondisi gelombangnya. Prediksi kejadian akibat efek dari gelombang (*deck wetness* dan *bottom slamming*) memerlukan penyederhanaan dengan beberapa asumsi sehingga permasalahan dapat lebih sederhana dan dapat dicari penyelesaiannya. Data *sea state* tersebut disajikan dalam table di bawah ini. Dengan asumsi gerakan kapal dipengaruhi oleh besarnya kecepatan angin, periode serta panjang gelombang. Data *sea state* tersebut dapat diberikan dalam table sebagai berikut:

Tabel 2.2 *Sea State* (Bhattacharyya, 1978)

<b>Sea State</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Wind Vel. (m/s)	1.029	4.373	6.945	8.231	9.774	12.347	13.376	25.208	27.780	30.609
Wave Height (m)	0.03	0.488	1.006	1.433	2.012	3.200	4.359	8.870	16.185	22.708
Average Periode (Sec)	0.5	2.3	3.6	4.3	5.1	6.4	7	10.7	14.5	15.9
Average Wave Length (m)	0.254	0.508	1.321	1.803	2.515	4.064	4.775	11.176	20.574	25.019
Minimum Duration (hr)	0.30	1.7	4.8	6.6	9.2	14	17	42	81	101

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

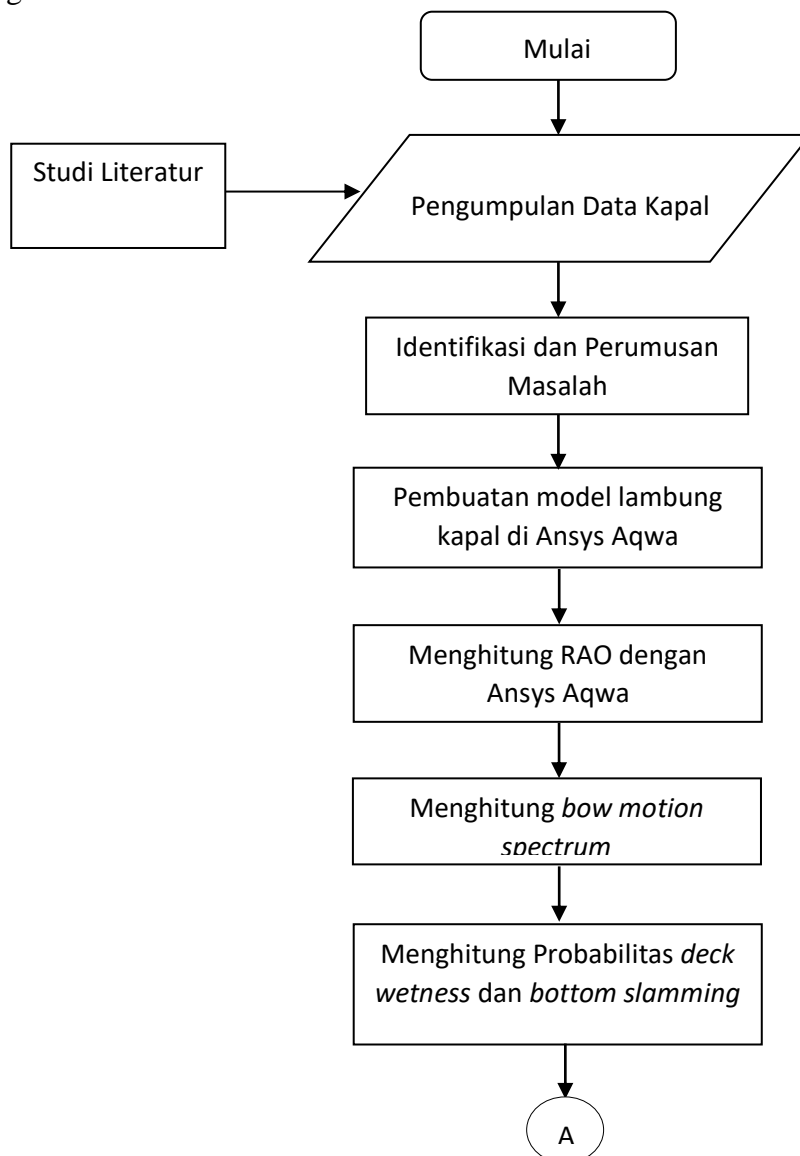
## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Pendahuluan

Seperti yang disinggung pada pendahuluan Bab II, bahwa teori yang digunakan pada Bab tersebut digunakan sebagai dasar bagian penyusunan Bab III. Adapun Bab III ini membahas mengenai metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan tujuan pada penelitian ini sebagaimana disampaikan pada Bab I, subbab 1.5. Penjelasaannya meliputi langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini serta analisa respon dengan menggunakan bantuan Ansys Aqwa.

#### 3.2 Diagram Alir





### 3.3 Tahap-tahap Pengerjaan Tugas Akhir

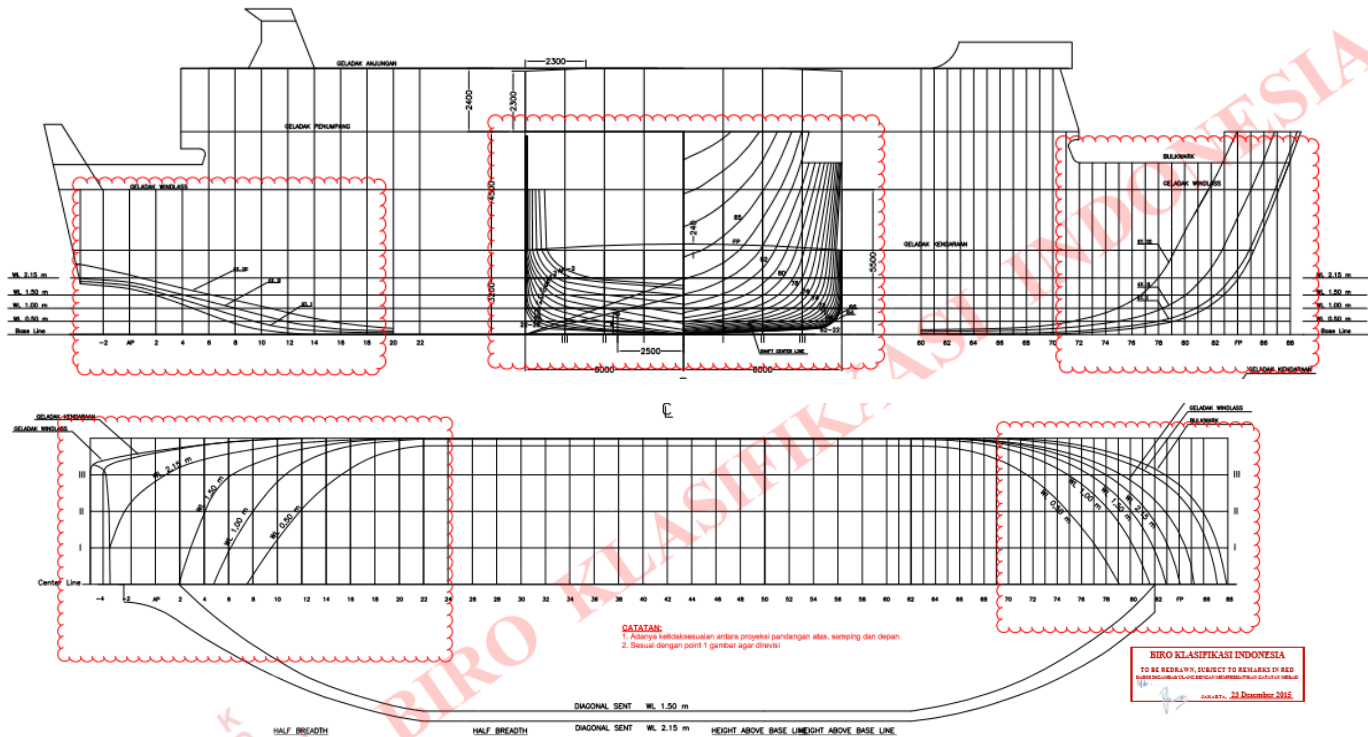
#### 3.3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi mengenai kapal Ferry Ro-Ro 500 GT yang dibangun oleh PT. Daya Radar Utama dan diawasi pembangunannya oleh Biro Klasifikasi Indonesia cabang Tanjung Priok. Tujuan tahap ini adalah untuk mengetahui karakteristik kapal Ferry Ro-Ro 500 GT serta mencari teori, konsep, dan rumusan perhitungan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.

Dalam tugas akhir ini digunakan program Ansys Aqwa untuk perhitungan numerik. Oleh karena itu perlu diketahui bagaimana cara kerja dan teori dari program tersebut, input yang dibutuhkan untuk menjalankan program, serta output yang diharapkan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Selain itu, dilakukan juga pengumpulan informasi mengenai data ukuran utama kapal, *linesplan*, dan hidrostatis untuk proses pemodelan kapal.

### 3.3.2 Data Kapal

Data kapal yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini diambil dari PT. Biro Klasifikasi Indonesia cabang Tanjung Priok, Data kapal berupa *linesplan* dan data hidrostatik kapal.



Gambar 3.1 Linesplan Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT

LENGTH OVER ALL	: 47.60 M
LENGTH PERPENDICULAR	: 42.00 M
BREADTH MOULDED	: 12.00 M
DEPTH.	: 3.20 M
DRAFT.	: 2.15 M
MAIN ENGINE	: 2 x 800 HP Heavy Duty
SPEED (PERCOBAAN)	: 12 Knots
CREW.	: 20 PERS.
PASSANGER	: 152 PERS.
CAR.	: 12 TRUCK.
	: 7 SEDAN
KELAS B.K.I A 100	① + P "KAPAL PENYEBERANGAN" + SM

Gambar 3.2 Ukuran Utama Kapal



Tabel 3.1 Tabel Hidrostatik Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT

Draft Amidships m	Displacement t	WL Length m	Beam max extents on WL m	Wetted Area m <sup>2</sup>	Waterpl. Area m <sup>2</sup>	Prismatic coeff. (Cp)	Block coeff. (Cb)	Max Sect. area coeff. (Cm)	Waterpl. area coeff. (Cwp)	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	LCF from zero pt. (+ve fwd) m
0.500	123.9	35.850	11.362	356.137	351.957	0.804	0.593	0.738	0.864	21.506	21.681
0.550	142.1	36.184	11.454	364.799	359.407	0.805	0.608	0.757	0.867	21.528	21.693
0.600	160.7	36.475	11.544	372.825	366.030	0.806	0.621	0.773	0.869	21.548	21.698
0.650	179.6	36.743	11.613	380.330	372.040	0.807	0.632	0.786	0.872	21.564	21.690
0.700	198.9	37.007	11.680	387.649	377.698	0.808	0.641	0.798	0.874	21.575	21.680
0.750	218.4	37.261	11.730	394.646	382.912	0.808	0.650	0.808	0.876	21.583	21.663
0.800	238.1	37.505	11.782	401.461	387.890	0.809	0.657	0.817	0.878	21.588	21.642
0.850	258.2	37.745	11.823	408.069	392.545	0.809	0.664	0.821	0.880	21.590	21.620
0.900	278.4	37.977	11.861	414.426	396.897	0.809	0.670	0.828	0.881	21.590	21.594
0.950	298.9	38.200	11.892	420.906	401.280	0.809	0.676	0.835	0.883	21.589	21.560
1.000	319.6	38.418	11.917	427.358	405.585	0.809	0.681	0.842	0.886	21.586	21.521
1.050	340.5	38.630	11.935	433.677	409.655	0.809	0.686	0.848	0.889	21.581	21.484
1.100	361.6	38.837	11.953	439.921	413.552	0.809	0.691	0.853	0.891	21.574	21.444
1.150	382.9	39.042	11.966	446.063	417.261	0.810	0.695	0.859	0.893	21.565	21.404
1.200	404.4	39.257	11.979	452.086	420.703	0.809	0.699	0.864	0.895	21.553	21.358
1.250	426.1	39.469	11.990	458.126	424.054	0.809	0.703	0.869	0.896	21.542	21.315
1.300	447.9	39.680	11.997	464.219	427.249	0.809	0.706	0.873	0.898	21.529	21.269
1.350	469.9	39.888	12.000	470.343	430.358	0.808	0.709	0.878	0.899	21.516	21.218
1.400	492.0	40.095	12.000	476.616	433.516	0.808	0.713	0.882	0.901	21.501	21.160
1.450	514.4	40.298	12.000	482.926	436.670	0.808	0.716	0.886	0.903	21.484	21.100
1.500	536.9	40.516	12.000	488.804	439.348	0.807	0.718	0.890	0.904	21.466	21.046
1.550	559.5	40.767	12.000	494.900	442.198	0.806	0.720	0.893	0.904	21.448	20.988
1.600	582.2	41.017	12.000	501.022	445.041	0.804	0.721	0.897	0.904	21.428	20.928
1.650	605.1	41.264	12.000	507.272	447.973	0.803	0.723	0.900	0.905	21.408	20.863
1.700	628.2	41.510	12.000	513.612	450.968	0.802	0.724	0.903	0.905	21.386	20.789
1.750	651.3	41.790	12.000	519.959	453.947	0.800	0.724	0.906	0.905	21.363	20.714
1.800	674.7	42.252	12.000	526.514	457.110	0.794	0.721	0.908	0.902	21.339	20.629
1.850	698.2	42.711	12.000	533.488	460.662	0.789	0.718	0.911	0.899	21.314	20.518
1.900	721.9	43.393	12.000	541.003	464.731	0.780	0.712	0.913	0.892	21.285	20.389
1.950	745.9	43.759	12.000	549.716	469.973	0.776	0.711	0.915	0.895	21.254	20.205
2.000	770.1	43.809	12.001	557.853	474.500	0.779	0.715	0.917	0.903	21.218	20.057
2.050	794.5	43.857	12.001	565.048	478.015	0.781	0.718	0.919	0.908	21.181	19.951
2.100	819.1	43.906	12.002	571.592	480.824	0.784	0.722	0.921	0.912	21.143	19.877
2.150	843.8	43.953	12.002	577.068	483.220	0.786	0.726	0.923	0.916	21.105	19.819
2.200	868.6	43.999	12.002	583.056	485.611	0.789	0.729	0.925	0.920	21.067	19.761
2.250	893.5	44.044	12.002	588.772	487.706	0.791	0.733	0.927	0.923	21.030	19.715
2.300	918.6	44.088	12.002	594.262	489.535	0.794	0.736	0.928	0.925	20.994	19.679

Draft Amidships m	KB m	KG m	BMt m	BML m	GMt m	GML m	KMt m	KML m	Immersion (TPC) tonne/cm	MTc tonne.m	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m
0.500	0.310	2.150	28.130	242.765	26.290	240.926	28.440	243.076	3.608	7.105	56.827
0.550	0.338	2.150	25.455	221.617	23.643	219.805	25.793	221.955	3.684	7.437	58.637
0.600	0.365	2.150	23.232	204.332	21.448	202.547	23.598	204.697	3.752	7.750	60.155
0.650	0.393	2.150	21.389	189.659	19.632	187.901	21.782	190.051	3.813	8.036	61.546
0.700	0.420	2.150	19.821	177.497	18.091	175.767	20.241	177.917	3.871	8.322	62.784
0.750	0.447	2.150	18.469	166.970	16.766	165.267	18.916	167.417	3.925	8.592	63.892
0.800	0.474	2.150	17.305	157.835	15.629	156.159	17.779	158.309	3.976	8.854	64.954
0.850	0.502	2.150	16.278	149.781	14.629	148.133	16.779	150.283	4.024	9.106	65.916
0.900	0.529	2.150	15.379	142.511	13.758	140.890	15.908	143.040	4.068	9.340	66.852
0.950	0.556	2.150	14.577	136.341	12.983	134.746	15.133	136.896	4.113	9.589	67.725
1.000	0.583	2.150	13.865	130.869	12.298	129.302	14.448	131.452	4.157	9.838	68.586
1.050	0.610	2.150	13.214	125.884	11.674	124.345	13.824	126.495	4.199	10.080	69.368
1.100	0.637	2.150	12.622	121.357	11.109	119.845	13.259	121.995	4.239	10.318	70.104
1.150	0.664	2.150	12.079	117.190	10.593	115.705	12.743	117.855	4.277	10.549	70.790
1.200	0.692	2.150	11.572	113.332	10.113	111.874	12.263	114.024	4.312	10.772	71.380
1.250	0.719	2.150	11.104	109.844	9.673	108.413	11.823	110.563	4.347	10.998	71.927
1.300	0.746	2.150	10.659	106.726	9.255	105.322	11.405	107.472	4.379	11.232	72.344
1.350	0.773	2.150	10.244	103.889	8.867	102.512	11.017	104.662	4.411	11.469	72.713
1.400	0.800	2.150	9.858	101.387	8.508	100.037	10.658	102.187	4.444	11.720	73.062
1.450	0.827	2.150	9.503	99.098	8.180	97.775	10.330	99.925	4.476	11.974	73.431
1.500	0.854	2.150	9.173	96.651	7.877	95.355	10.027	97.505	4.503	12.189	73.806
1.550	0.881	2.150	8.864	94.550	7.595	93.281	9.745	95.431	4.533	12.425	74.156
1.600	0.908	2.150	8.573	92.616	7.331	91.374	9.481	93.524	4.562	12.666	74.492
1.650	0.936	2.150	8.301	90.894	7.086	89.680	9.236	91.830	4.592	12.920	74.833
1.700	0.963	2.150	8.049	89.333	6.861	88.145	9.011	90.295	4.622	13.183	75.220
1.750	0.990	2.150	7.813	87.873	6.653	86.712	8.803	88.862	4.653	13.448	75.628
1.800	1.017	2.150	7.592	86.635	6.459	85.502	8.609	87.652	4.685	13.735	76.056
1.850	1.044	2.150	7.385	85.732	6.279	84.626	8.429	86.776	4.722	14.068	76.512
1.900	1.072	2.150	7.191	85.219	6.112	84.140	8.262	86.290	4.763	14.463	77.011
1.950	1.099	2.150	7.013	85.480	5.962	84.429	8.112	86.579	4.817	14.994	77.604
2.000	1.126	2.150	6.851	85.245	5.827	84.221	7.977	86.371	4.864	15.442	78.317
2.050	1.154	2.150	6.694	84.447	5.698	83.451	7.848	85.601	4.900	15.786	79.007
2.100	1.182	2.150	6.541	83.306	5.573	82.337	7.723	84.487	4.928	16.057	79.667
2.150	1.209	2.150	6.395	82.008	5.454	81.067	7.604	83.217	4.953	16.286	80.319
2.200	1.237	2.150	6.254	80.793	5.341	79.880	7.491	82.030	4.978	16.520	80.971

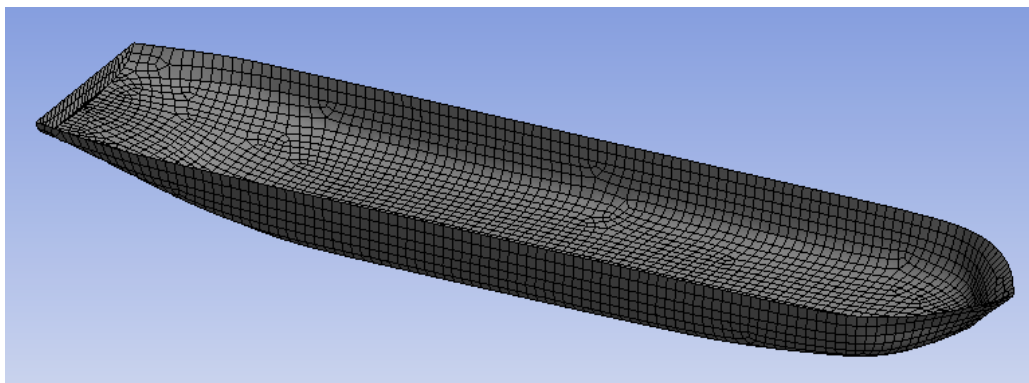
### 3.3.3 Ansys Aqwa

Teknologi dalam dunia perkapalan semakin canggih seiring dengan perkembangan *hardware* dan *software* yang dapat mempermudah pekerjaan dalam mendesai kapal. Dengan menggunakan program-program tertentu perhitungan yang rumit dapat dipersingkat dengan menggunakan komputr sehingga mempermudah dalam melakukan iterasi dan variasi model.

Dalam melakukan analisis gerakan kapal terhadap *deck wetness* dan *bottom slamming* yang sering digunakan sebelumnya adalah metode eksperimen di *towing tank*. Namun metode ini membutuhkan biaya dan waktu yang tidak sedikit. Kini analisis tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan program yang dioperasikan melalui komputer. Hal ini tentu saja mempermudah dan mempersingkat waktu dalam menganalisis serta biaya

yang dikeluarkan dapat diminimalisir. Salah satu program yang dapat digunakan adalah dalam melakukan analisis tersebut adalah *software* Ansys Aqwa dimana berdasarkan pada teori *3D-Diffraction*.

Metode *3D-Diffraction* digunakan untuk menganalisis gerakan struktur dengan bentuk sembarang, baik terapung bebas maupun dengan *mooring system*. Permukaan struktur dibagi dalam N panel yang cukup kecil sehingga diasumsikan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja adalah sama di tiap panel, seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Lambung kapal dibagi dalam panel-panel

Untuk melakukan analisis dengan Ansys Aqwa terlebih dahulu dilakukan pemodelan dengan menggunakan *software* pendukung seperti Design Modeler atau bisa juga dengan program lain seperti Maxsurf. Model yang dapat dianalisis Ansys Aqwa adalah model yang berbentuk *nurb surfaces*.

#### 3.3.4 Pemodelan Lambung Kapal

Pemodelan lambung kapal yang akan digunakan sebagai *input* pada program Ansys Aqwa dengan menggunakan bantuan *software* Maxsurf Modeler. Maxsurf membuat model lambung kapal yang terdiri dari beberapa *surface* dengan fitur 3D NURB (*Non-Uniform Rational B-Spline*). Database yang akan digunakan pada tahap ini adalah *linesplan* kapal ferry ro-ro 500 GT dan model lambung kapal akan divalidasi dengan menggunakan data hidrostatik kapal ferry ro-ro 500 GT.

### 3.3.5 Perhitungan RAO

Lambung kapal yang sudah selesai dimodelkan pada maxsurf akan digunakan sebagai *input* untuk perhitungan RAO (*response amplitude operators*) pada Ansys Aqwa. RAO yang akan dihasilkan adalah pada kondisi *heaving* dan *pitching* pada sudut  $180^\circ$  dengan kecepatan sesuai kecepatan dinas kapal. Perhitungan RAO menggunakan teori difraksi radiasi 3-dimensi untuk memecahkan masalah *seakeeping*, dimana di dalam metode ini permukaan lambung bangunan apung dibagi menjadi panel-panel yang disebut *mesh*. Input wajib untuk *wave loads* berupa: frekuensi gelombang (rad/s), *wave headings* (deg), kedalaman perairan (m). Sedangkan beberapa data yang dapat dimasukkan sebagai parameter opsional: *reference length*, percepatan akibat gravitasi, massa jenis air. Agar dapat menyelesaikan persamaan gerak dengan 6 derajat kebebasan seperti yang ditulis di atas, *user* harus menentukan posisi *center of gravity* (CoG) / *point of mass*, *point of buoyancy*. Setelah menyiapkan *file input* seperti yang disebutkan di atas, *user* dapat memulai perhitungan gerakan yang nantinya akan mengeluarkan hasil RAO.

### 3.3.6 Perhitungan Deck Wetness dan Bottom Slamming

Perhitungan *deck wetness* dan *bottom slamming* dihitung dengan menggunakan rumus Bhattacharya (1978) yang juga telah dijelaskan pada bab II. Untuk menghitung probabilitas *deck wetness* dibutuhkan input berupa: *actual freeboard* (m), dan luasan spectrum respons. Sedangkan untuk menghitung probabilitas *bottom slamming* dibutuhkan input berupa: sarat (m), luasan spectrum respons, *threshold velocity*, dan momen spectrum kedua.

### 3.3.7 Perhitungan Bottom Pressure dan Akselerasi Vertikal

Perhitungan *bottom pressure* dilakukan dengan menggunakan software ansys aqwa dengan *input* yang sama dengan *input* RAO lalu dilakukan validasi dengan menggunakan *rules* dari BKI.

Perhitungan akselerasi vertikal dihitung sesuai dengan Bhattacharya (1978) lalu dilakukan validasi sesuai dengan peraturan dari IMO DE50 (2000).

### 3.4 Spesifikasi Komputer

Guna mendukung berjalannya proses perhitungan numerik dengan komputer, maka diperlukan spesifikasi tertentu dari komputer agar proses *running* berjalan cepat. Adapun spesifikasi yang digunakan oleh penulis adalah:

1. Processor : Intel ® Core <sup>TM</sup> i7-5500 CPU @2.40Ghz
2. Installed Memory (RAM) : 8.00 GB
3. System Type : 64-bit Operating System, x64-based processor
4. Operating System : Windows 10 Pro © Microsoft Corporation

### 3.5 Analisa Respons

Pada penelitian ini, perilaku gerak kapal ferry ro-ro 500 GT dikaji dalam kondisi gelombang irregular dengan rentang frekuensi gelombang yang dianalisis antara 0.05– 2 rad/s dengan interval frekuensi sebesar 0.05 rad/s.

Respons struktur pada gelombang irregular dapat dilakukan dengan mentransformasikan spectrum gelombang menjadi spectrum respons. Spectrum respons didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur. Hal ini didapatkan dengan mengalikan harga kuadrat dari *response amplitude operators* (RAO) dengan spectrum gelombang.

### 3.5 Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah penarikan kesimpulan dan saran. Kesimpulan yang didapatkan harus mampu menjawab permasalahan yang ada dalam tugas akhir ini berupa besarnya probabilitas *deck wetness* dan *bottom slamming* serta memenuhi atau tidaknya nilai dari akselerasi vertikal dan *bottom pressure*. Sedangkan saran yang diberikan berupa masukan terhadap penelitian ini kedepannya.

## BAB IV

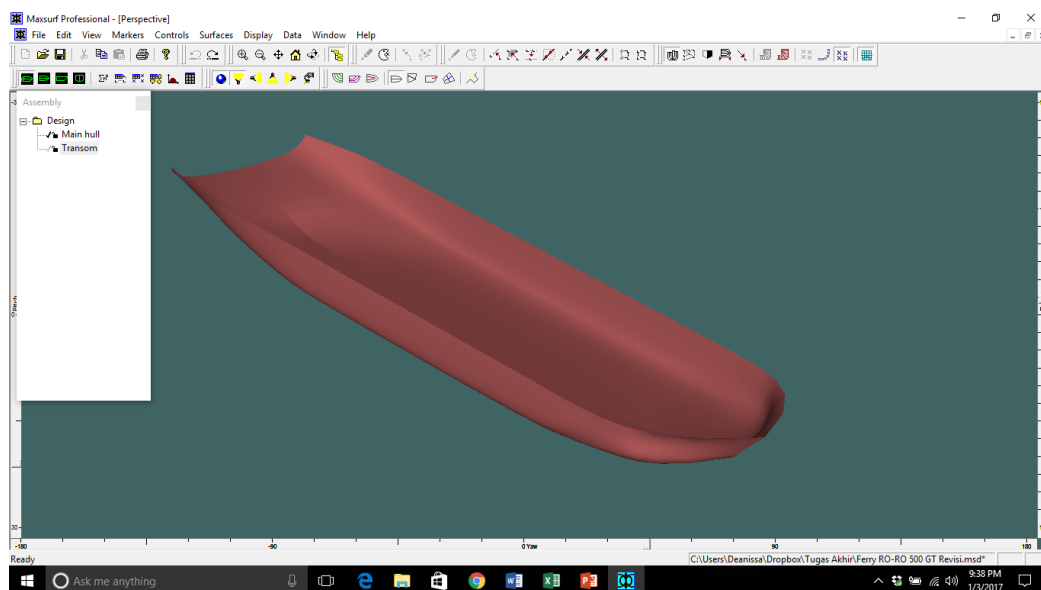
### PEMODELAN LAMBUNG KAPAL

#### 4.1 Pendahuluan

Pada Bab III sebelumnya telah disinggung bahwa pada penelitian ini analisa gerakan kapal terhadap *deck wetness* dan *bottom slamming* dikaji dalam kondisi gelombang irregular. Pada Bab IV ini akan dijelaskan bagaimana memodelkan kapal ferry ro-ro 500 GT untuk kemudian dianalisa *deck wetness* dan *bottom slamming*-nya. Prosedur dan tahapan dalam pemodelan lambung kapal melalui *software* Ansys Aqwa dengan bantuan *software* Maxsurf akan dijabarkan pada Bab ini.

#### 4.2 Pembuatan Model Lambung Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT dengan menggunakan *software* Maxsurf

Sebelum dilakukan pemodelan pada *software* Ansys Aqwa maka model terlebih dahulu dimodelkan pada *software* Maxsurf dengan skala 1:1. Koordinat model kapal di Maxsurf disesuaikan dengan koordinat yang ada berdasarkan data *linesplan* kapal. Dasar pembuatan modelnya adalah *surface* yang merupakan bidang permukaan dan dapat dibuat menjadi berbagai bentuk model 3D dengan menambahi, mengurangi, mengubah koordinat, dan mengubah kelenturan *control point*.



Gambar 4.1 Lambung Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT pada Maxsurf

Setelah model selesai dibuat maka dilakukan *running* hidrostatik pada Maxsurf untuk melakukan validasi model maxsurf dengan data hidrostatik kapal ferry ro-ro 500 GT yang sebenarnya. Toleransi kesalahan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sebesar 2% sehingga model yang dibuat dapat mendeskripsikan karakteristik kapal yang sebenarnya. Hasil validasi hidrostatik antara model lambung kapal di maxsurf dan data hidrostatik kapal yang sebenarnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tabel Validasi Hidrostatik

No.	Komponen	Nilai		Unit	Selisih
		Data Kapal	Data Maxsurf		
1	Loa	47.6	47.6	m	0.00%
2	B	12	12	m	0.00%
3	H	3.2	3.2	m	0.00%
4	T	2.15	2.15	m	0.00%
5	Displacement	843.8	843.752	ton	0.01%
6	Cb	0.726	0.732		-0.83%
7	Cm	0.923	0.934		-1.19%
8	Cp	0.786	0.784		0.25%
9	WPA	483.22	480.84	m <sup>2</sup>	0.49%
10	WSA	571.592	578.26	m <sup>2</sup>	-1.17%
11	LCB	21.105	20.902	m	0.96%
12	KB	1.209	1.204	m	0.41%


Setelah dilakukan validasi hidrostatik, maka proses pemodelan dengan *software* Maxsurf telah selesai, maka model disimpan dalam bentuk .iges untuk proses pemodelan dan analisis selanjutnya pada Ansys Aqwa.

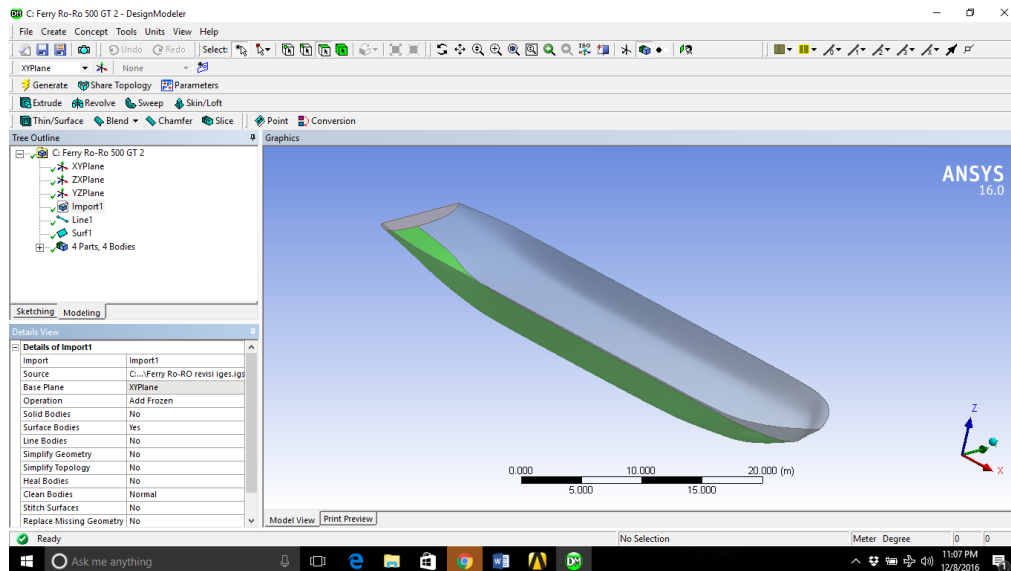
#### 4.3 Pemodelan Lambung Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT dengan menggunakan *software* Ansys Aqwa

Sebelum dapat dilakukan *running* pada Ansys Aqwa maka harus dilakukan pemodelan lambung kapal. Pemodelan lambung kapal pada Ansys Aqwa terdapat 2 proses yaitu proses geometri dan proses model. Kedua proses tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

##### 4.3.1 Proses Geometri

Proses pertama sebelum melakukan *running* model adalah proses geometri. Proses geometri pada Ansys Aqwa diawali dengan *import model* dari maxsurf dengan skala 1:1

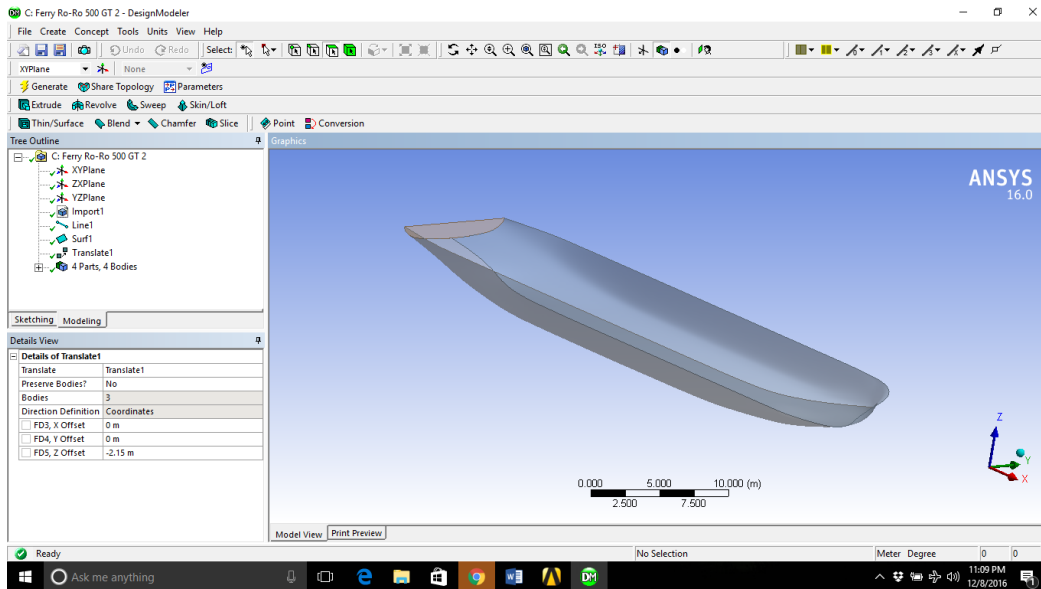
dalam bentuk .iges. Proses *import* dilakukan dengan memilih menu *file* lalu klik *Import External Geometry file* lalu selanjutnya klik *generate* atau ikon 



Gambar 4.2 Import Geometri Eksternal

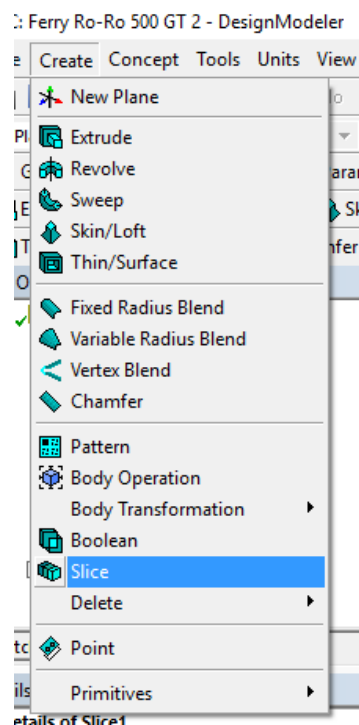
Setelah file maxsurf telah masuk, maka model yang diimpor dari maxsurf harus dalam satu bagian sehingga perlu diperlukan langkah-langkah untuk menjadikan file maxsurf menjadi satu bagian dengan cara *Create > Body Operation > Sew*. Lalu klik *generate* sehingga badan kapal menjadi satu bagian. Selanjutnya untuk membuat kapal sesuai dengan koordinat yang diinginkan maka dilakukan proses *Body Operation* lalu pilih *Translate* lalu pilih *Direction Definition* lalu klik *Z Offset* sebesar sarat kapal yaitu 2.15 meter lalu *generate*.





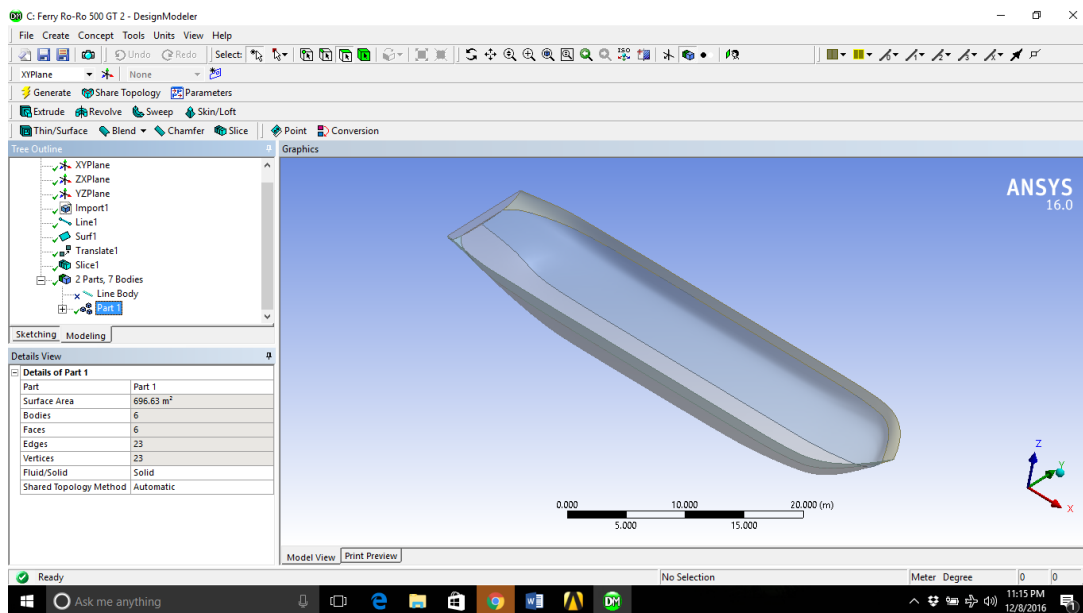
Gambar 4.3 Tahap Translate pada Ansys Aqwa

Dalam proses pemodelan, setelah dilakukan proses *translate*, maka dilakukan pembagian kapal menjadi 2 bagian dengan potongan pada sarat dengan cara klik *Create* lalu pilih *Slice* dan pilih *XY plane* untuk memotong kapal secara memanjang sesuai sarat kapal.



Gambar 4.4 Menu Input Slice

Setelah dilakukan *slicing* maka selanjutnya kapal digabungkan dengan cara klik kanan pada *part* lalu pilih *Form New Part*. Hasil dari pemodelan geometri pada Ansys Aqwa dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Geometri Kapal pada Ansys Aqwa

#### 4.3.2 Proses Model

Setelah proses geometri selesai maka dilanjutkan dengan proses model, dimana pada proses model ini akan dimasukkann data-data kapal maupun gelombang untuk keperluan *running* berupa *point of mass*, *point of buoyancy*, *wave directions*, *wave frequency*, dan *mesh*.

##### 4.3.2.1 Point of Mass

Proses input *point of mass* dilakukan dengan klik kanan pada menu *add* lalu klik *point of mass* sehingga muncul tampilan seperti Gambar 4.6

Details	
<input type="checkbox"/> X	19.504 m
<input type="checkbox"/> Y	0.0 m
<input type="checkbox"/> Z	0.0 m
Mass Definition	Manual
<input type="checkbox"/> Mass	843800 kg
Define Inertia Values ...	via Radius of Gyration
<input type="checkbox"/> Kxx	4.067 m
<input type="checkbox"/> Kyy	11.005 m
<input type="checkbox"/> Kzz	11.452 m
Ixx	13956864.6182 kg.m <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Ixy	0.0 kg.m <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Ixz	0.0 kg.m <sup>2</sup>
Iyy	102192639.095 kg.m <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Iyz	0.0 kg.m <sup>2</sup>
Izz	110662938.9152 kg.m <sup>2</sup>

Gambar 4.6 Detail Menu Point of Mass

Dari gambar di atas perlu dilakukan input data radius girasi (Kxx, Kyy, Kzz) dan massa kapal. Untuk input radius girasi pada perangkat lunak ini diberikan secara umum dengan rumus:

$$K_{xx} = 0.34 \times \text{Beam}$$

$$K_{yy} = 0.25 \times \text{Length}$$

$$K_{zz} = 0.26 \times \text{Length}$$

#### 4.3.2.2 Point of Bouyancy

Proses input *point of buoyancy* dilakukan dengan klik kanan pada menu *add* lalu klik *point of buoyancy* sehingga muncul tampilan seperti gambar 4.7

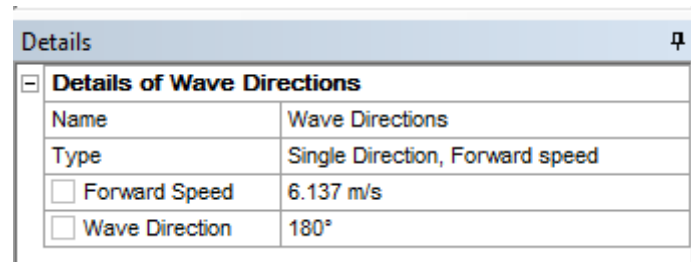
Details	
<b>Details of Point Buoyancy</b>	
Name	Point Buoyancy
Visibility	Visible
Activity	Not Suppressed
<input type="checkbox"/> X	19.504 m
<input type="checkbox"/> Y	0.0 m
<input type="checkbox"/> Z	1.204 m
<input type="checkbox"/> Volume	823.173 m <sup>3</sup>

Gambar 4.7 Detail Menu Point of Bouyancy

Dari gambar di atas perlu dilakukan input data Longitudinal Center of Bouyancy (X), Keel Bouyancy (Z), dan Volume sesuai dengan data hidrostatik.

#### 4.3.2.3 Wave Direction

Proses input *wave direction* dilakukan dengan klik *hydrodynamic diffraction* lalu klik *wave direction* sehingga muncul tampilan seperti gambar 4.8



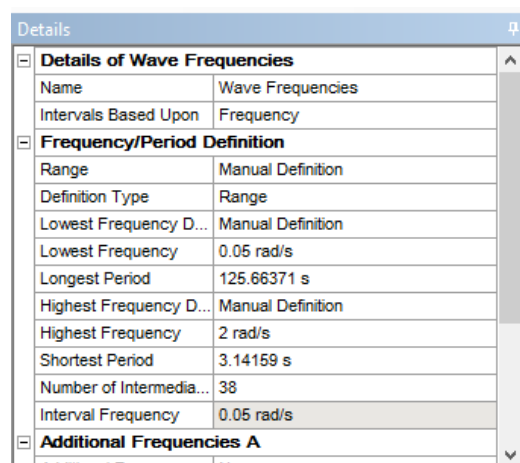
Details	
<b>Details of Wave Directions</b>	
Name	Wave Directions
Type	Single Direction, Forward speed
<input type="checkbox"/> Forward Speed	6.137 m/s
<input type="checkbox"/> Wave Direction	180°

Gambar 4.8 Detail Menu Wave Direction

Dari gambar di atas perlu dilakukan input data kecepatan kapal sesuai dengan kecepatan dinasnya dan *heading angle*.

#### 4.3.2.4 Wave Frequency

Proses input *wave frequency* dilakukan dengan klik *hydrodynamic diffraction* lalu klik *wave frequency* sehingga muncul tampilan seperti gambar 4.9



Details	
<b>Details of Wave Frequencies</b>	
Name	Wave Frequencies
Intervals Based Upon	Frequency
<b>Frequency/Period Definition</b>	
Range	Manual Definition
Definition Type	Range
Lowest Frequency D...	Manual Definition
Lowest Frequency	0.05 rad/s
Longest Period	125.66371 s
Highest Frequency D...	Manual Definition
Highest Frequency	2 rad/s
Shortest Period	3.14159 s
Number of Intermedia...	38
Interval Frequency	0.05 rad/s
<b>Additional Frequencies A</b>	
Additional Frequencies	None

Gambar 4.9 Detail Menu Wave Frequency

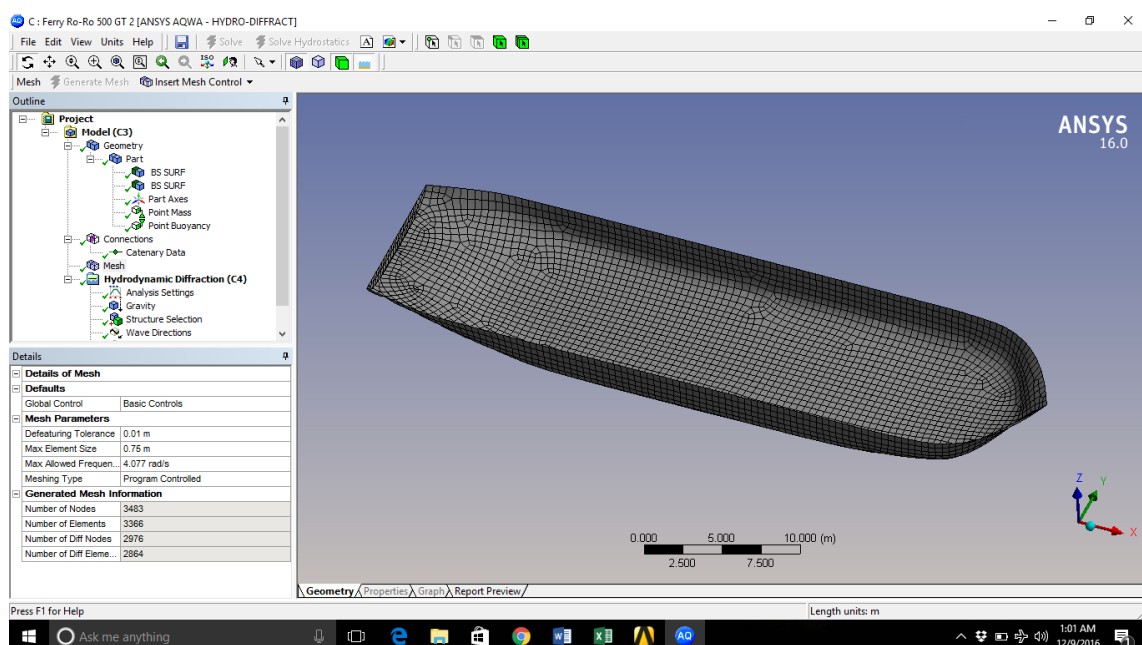
Dari gambar di atas perlu dilakukan input data rentang frekuensi tertinggi dan terendah serta interval frekuensi.

#### 4.3.2.5 Mesh

Details	
Details of Mesh	
Defaults	
Global Control	Basic Controls
Mesh Parameters	
Defeaturing Tolerance	0.01 m
Max Element Size	0.75 m
Max Allowed Frequen...	4.077 rad/s
Meshing Type	Program Controlled
Generated Mesh Information	
Number of Nodes	3483
Number of Elements	3366
Number of Diff Nodes	2976
Number of Diff Eleme...	2864

Gambar 4.10 Detail Menu Mesh

Setelah memasukkan semua input data pada proses model, maka tahap selanjutnya adalah *meshing*. Proses ini bertujuan untuk mendefinisikan kapal menjadi elemen-elemen kecil sehingga nilai hirodinamis dari model bisa didapatkan. Proses *meshing* sangat mempengaruhi hasil dari *running* karena semakin kecil *meshing* dan semakin banyak jumlah *meshing* maka semakin akurat hasil yang akan didapatkan, namun semakin kecil ukuran *meshing* maka waktu *running* akan semakin lama.



Gambar 4.11 Meshing pada Kapal Ferry

Dalam tugas akhir ini, akan dibuat 5 variasi jumlah *meshing* terhadap model kapal ferry yang disimulasikan. Dalam proses *meshing* ini dilakukan pencarian jumlah *meshing* yang paling optimal baik dari nilainya, kemampuan komputer yang digunakan, maupun lama waktu proses *running*. Output yang digunakan sebagai acuan dalam proses *meshing* ini adalah *response amplitude operator* (RAO). Dari simulasi akan menghasilkan nilai RAO yang berbeda dan dilakukan pemilihan nilai *meshing* yang paling optimal, sehingga tidak banyak waktu untuk melakukan proses *running* dan penggunaan komputer tidak perlu dipaksakan.

Tabel 4.2 Luasan RAO Heave dari masing-masing Grid Mesh

Grid	Ukuran Elemen	Jumlah Elemen	Luasan RAO Heave (m <sup>2</sup> )	Prosentasi Perbedaan
A	2	556	1.0658	
B	1.5	914	1.0643	0.141%
C	1	1981	1.0619	0.226%
D	0.75	3366	1.0614	0.047%
E	0.5	7680	1.0608	0.057%

Tabel 4.3 Luasan RAO Pitch dari masing-masing Grid Mesh

Grid	Ukuran Elemen	Jumlah Elemen	Luasan RAO Pitch (deg <sup>2</sup> )	Prosentasi Perbedaan
A	2	556	2.8856	
B	1.5	914	2.8476	1.317%
C	1	1981	2.8269	0.727%
D	0.75	3366	2.8183	0.304%
E	0.5	7680	2.7842	0.337%

Dari table 4.2 dan table 4.3 menunjukkan bahwa pada Grid D prosentase perbedaan luasan RAO untuk *heave* dan *pitch* menghasilkan prosentase perbedaan yang paling kecil. Dengan kata lain, *meshing* kapal yang dihasilkan pada grid D merupakan hasil *meshing* kapal yang paling optimal dan juga tidak memerlukan terlalu banyak waktu untuk *running* dan penggunaan komputer tidak perlu dipaksakan. Maka dapat disimpulkan bahwa Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT menggunakan ketentuan *meshing* sebagai berikut:

- a) *Local element size* : 0.75 m
- b) *Number of nodes* : 3483
- c) *Number of elements* : 3366

Setelah tahap *meshing* telah selesai dilakukan, maka model kapal telah siap untuk dilakukan proses *running* untuk mendapatkan nilai *response amplitude operator* (RAO) yang selanjutnya akan dianalisis terhadap *deck wetness* dan *bottom slamming*-nya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Pendahuluan

Jika pada Bab IV dibahas mengenai cara memodelkan kapal Ferry Ro-Ro 500 GT, maka pada Bab ini akan dilakukan analisa dan pembahasan mengenai validasi RAO *box* yang diperoleh dengan menggunakan *software* Ansys Aqwa dengan RAO yang telah diperoleh dengan menggunakan *software* WAMIT serta hasil analisa respons spectrum pada *sea state* 3-6 dengan menggunakan spectrum gelombang ITTC yang digunakan untuk menghitung *deck wetness* dan *bottom slamming*.

#### 5.2 Validasi RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMIT

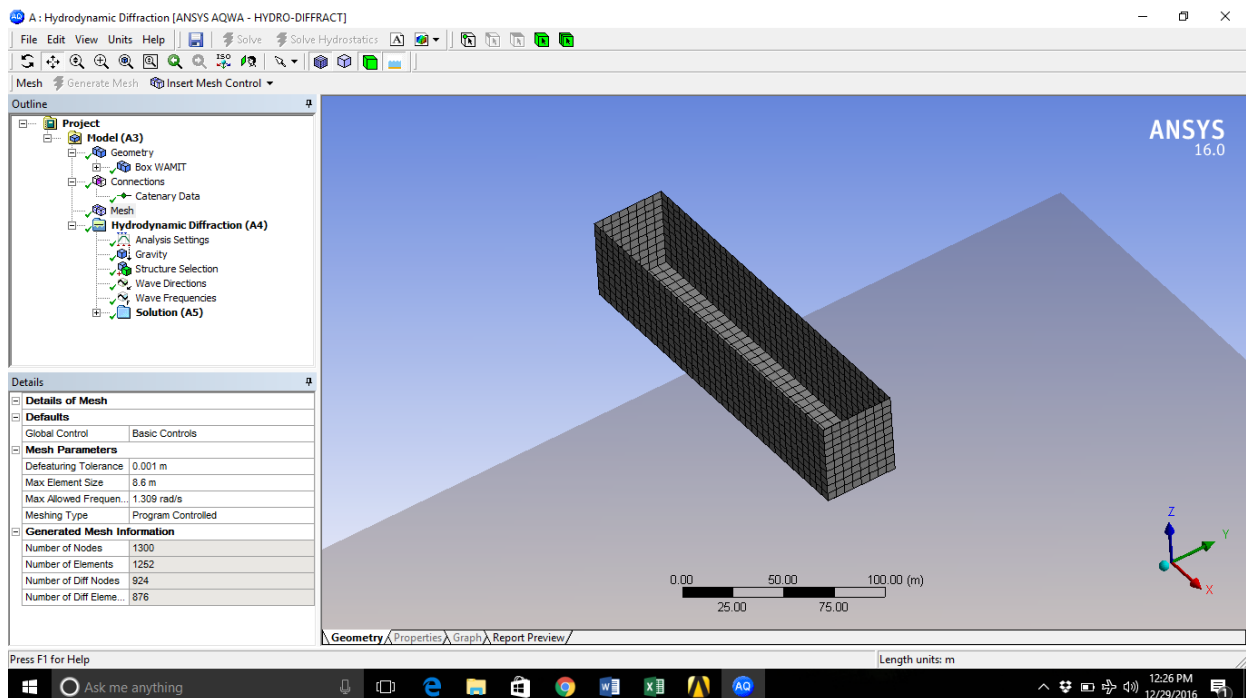
Proses validasi dilakukan dengan cara membandingkan RAO *box* dari Ansys Aqwa dan dengan *paper* yang berjudul '*Hydrodynamic Analysis Comparison Study*' yang ditulis oleh McDermott. Proses validasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa parameter *input* yang dimasukkan pada Ansys Aqwa sudah benar. Dalam paper McDermott (2000) terdapat beberapa model yang digunakan sebagai objek perhitungan RAO dengan enam derajat kebebasan, salah satu model yang digunakan tersebut adalah *box*. Dengan menggunakan model yang sama, akan dilakukan simulasi pada Ansys Aqwa. Hasil simulasi RAO *box* pada Ansys Aqwa akan dibandingkan dengan RAO WAMIT dalam paper McDermott (2000) apabila hasil RAO *box* pada Ansys Aqwa dan WAMIT telah memiliki pola yang sama atau mendekati sama maka telah valid. Ukuran model balok terdapat pada paper dengan geometri dan jumlah panel sebagai berikut:

- Panjang : 200 m
- Lebar : 40 m
- Sarat : 28 m
- Displasmen : 229.645 ton
- *Centre of gravity* (KG) : 28 m
- Jumlah panel : 1264



Dengan ukuran-ukuran tersebut maka dibuat model *box* pada Maxsurf lalu diimpor ke Ansys Aqwa untuk dilakukan analisis dengan ketentuan sebagai berikut:

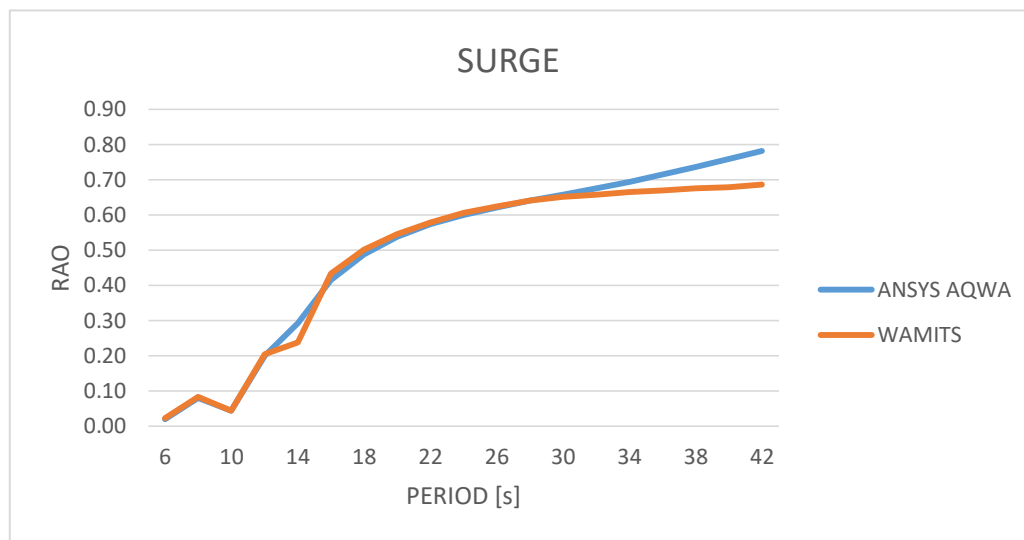
- *Water depth* : 1000 m
- *Water density* : 1025 kg/m<sup>3</sup>
- *Kxx* : 12.20656 m
- *Kyy* : 54.88372 m
- *Kzz* : 55.34639 m
- *Gravity* : 9.80665 m/s<sup>2</sup>
- *Stern quartering head seas* ( $\mu = 45^\circ$ )
- *Longest period* : 42 s
- *Shortest period* : 4 s
- *Interval period* : 2 s



Gambar 5.1 *Meshing* pada box

Setelah dilakukan proses *running* pada Ansys Aqwa dengan ketentuan seperti yang disebutkan di atas, maka didapatkan hasil RAO pada Ansys Aqwa dan dapat dibandingkan

dengan RAO WAMIT. Berikut adalah hasil perbandingan RAO antara Ansys Aqwa dan WAMIT:



Gambar 5.2 Perbandingan RAO Surge antara Aqwa dan WAMIT

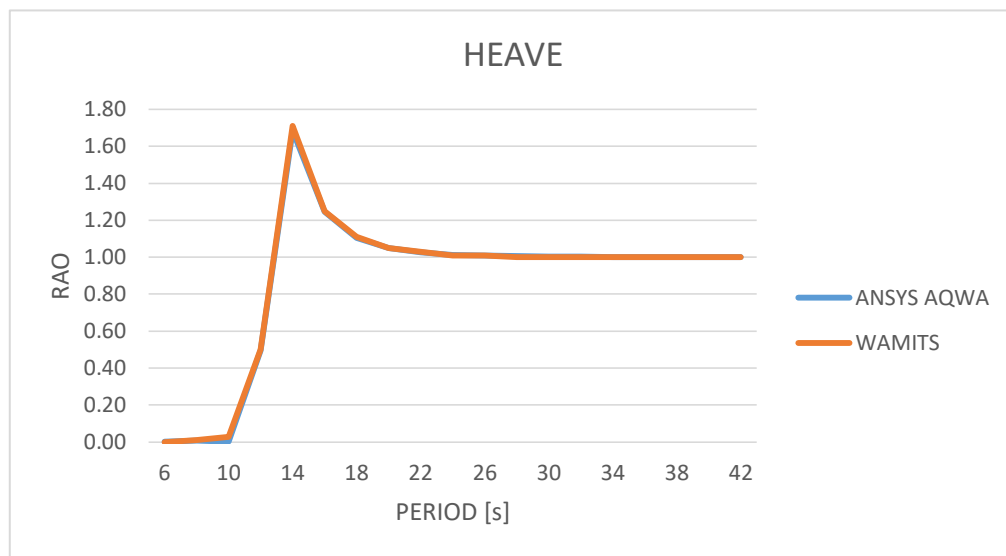
Berdasarkan Gambar 5.2 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan WAMIT pada kondisi *surge* memiliki hasil yang relative sama walaupun terdapat perbedaan pada periode 32 sampai 42, tetapi dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *surge* telah valid.



Gambar 5.3 Perbandingan RAO Sway antara Aqwa dan WAMIT

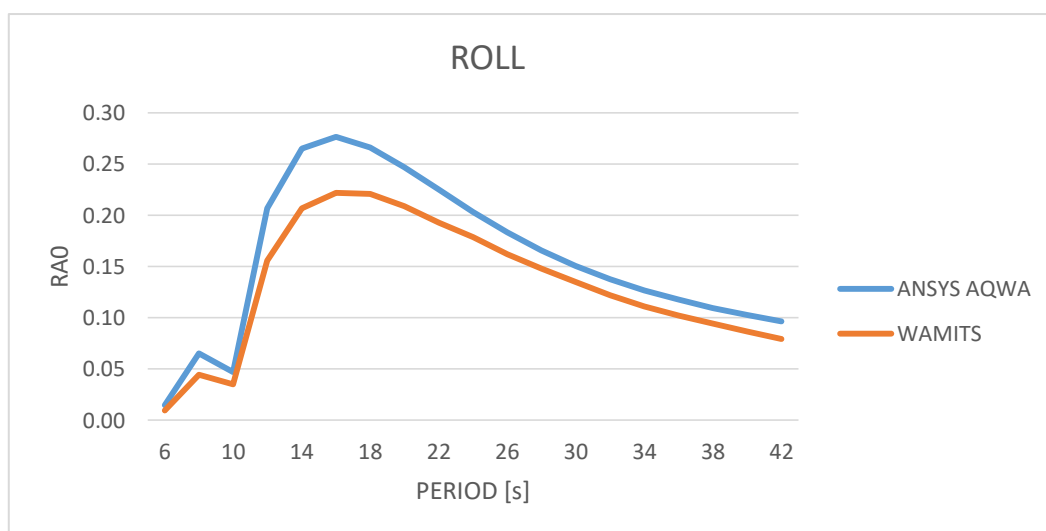
Berdasarkan Gambar 5.3 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan WAMIT pada kondisi *sway* memiliki hasil yang relative sama walaupun

terdapat perbedaan pada periode 32 sampai 42, tetapi dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *surge* telah valid.



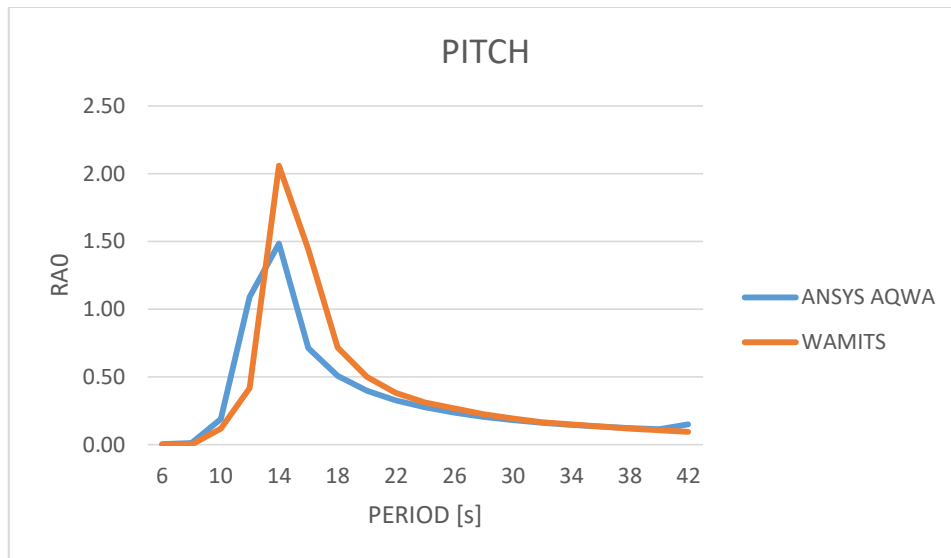
Gambar 5.4 Perbandingan RAO Heave antara Aqwa dan WAMIT

Berdasarkan Gambar 5.4 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan WAMIT pada kondisi *heave* memiliki hasil yang sama, dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *heave* telah valid.



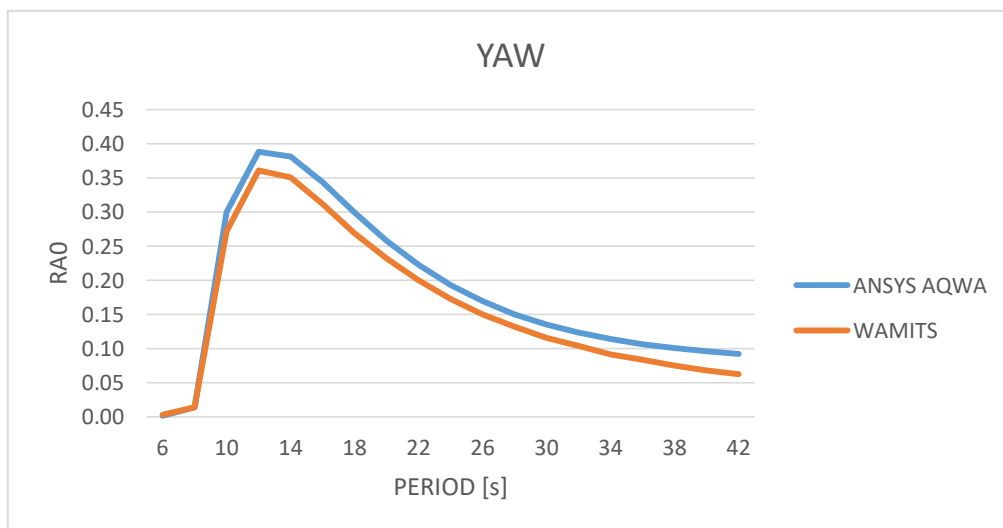
Gambar 5.5 Perbandingan RAO Roll antara Aqwa dan WAMIT

Berdasarkan Gambar 5.5 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan WAMIT pada kondisi *roll* memiliki hasil yang relative sama walaupun terdapat perbedaan pada periode 6 sampai 42, tetapi karena memiliki *trendline* yang sama maka dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *roll* telah valid.



Gambar 5.6 Perbandingan RAO Pitch antara Aqwa dan WAMIT

Berdasarkan Gambar 5.6 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan WAMIT pada kondisi *pitch* memiliki hasil yang relative sama walaupun terdapat perbedaan pada periode 10 sampai 28, tetapi dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *surge* telah valid.



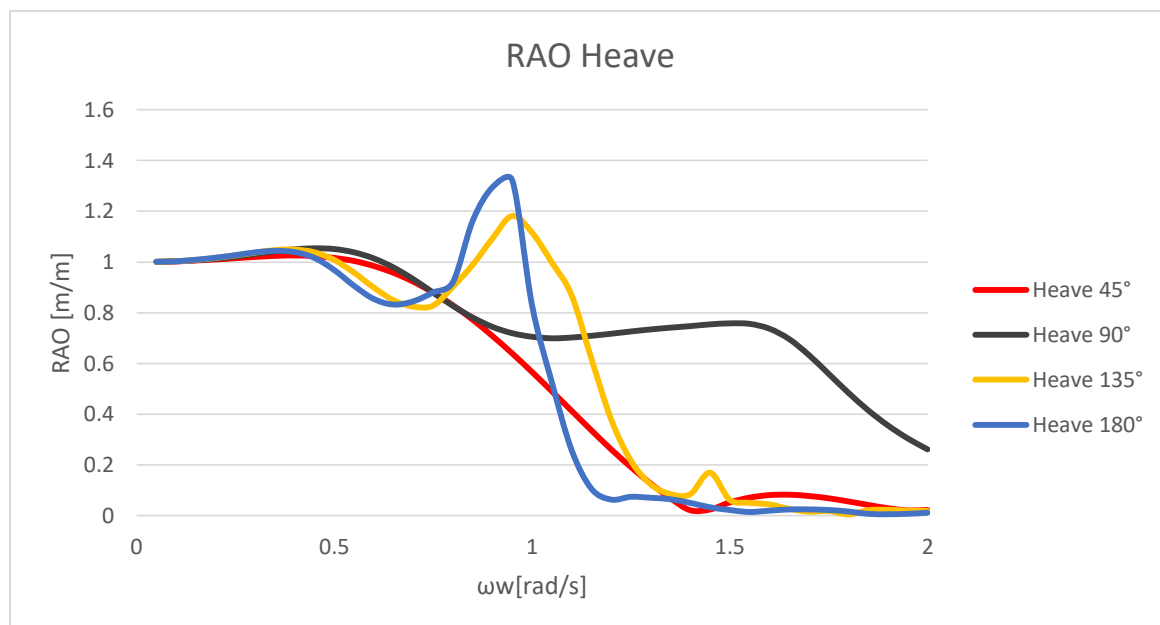
Gambar 5.7 Perbandingan RAO Yaw antara Aqwa dan WAMIT

Berdasarkan Gambar 5.7 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan WAMIT pada kondisi *yaw* memiliki hasil yang relative sama walaupun terdapat perbedaan pada periode 12 sampai 42, tetapi dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *yaw* telah valid.

Berdasarkan hasil perbandingan RAO pada *software* Ansys Aqwa dengan RAO pada WAMIT, maka dapat dianalisis bahwa RAO yang telah dibuat pada *software* Ansys Aqwa telah mendekati dan memiliki pola yang sama. Oleh karena itu dapat diambil kesimpulan bahwa model pada *software* Ansys Aqwa ini telah valid.

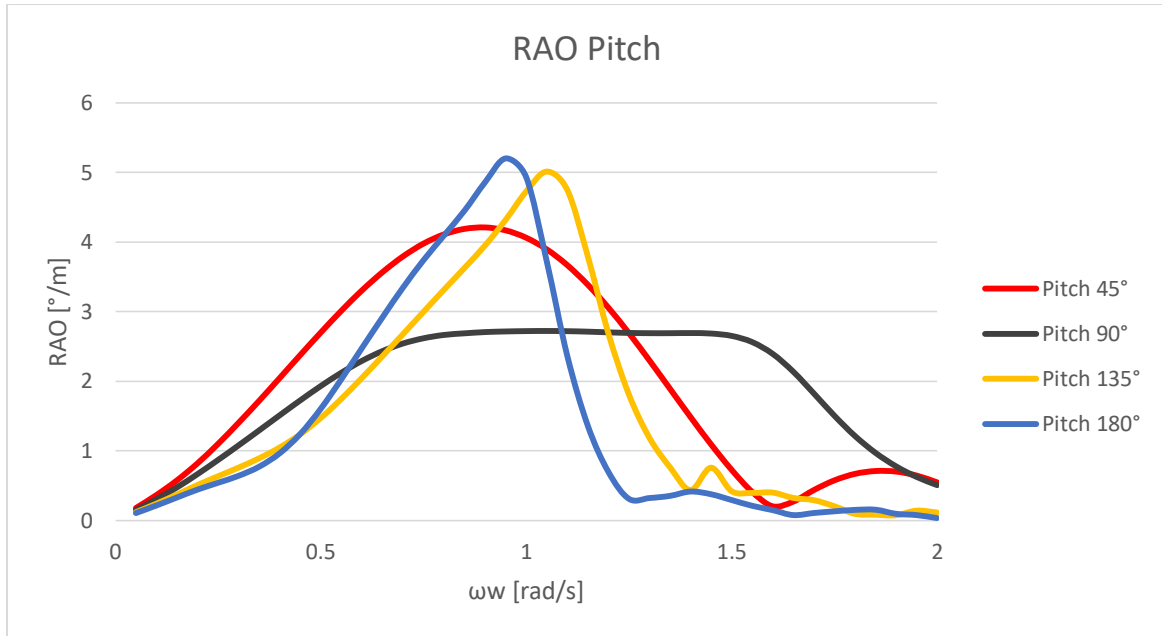
### 5.3 RAO Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT

Proses perhitungan RAO dari kapal ferry ro-ro 500 GT ini dilakukan ketika proses pemodelan pada *software* Ansys Aqwa telah valid. Analisis RAO dihitung dengan mempertimbangkan variasi sudut hadap yaitu 45°, 90°, 135°, dan 180°, dengan kecepatan 13 knots. Hasil dari RAO dapat dilihat pada Gambar 5.8 – 5.9:



Gambar 5.8 RAO Heave Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT

Pada Gambar 5.8 dapat dilihat *response amplitude operator* (RAO) pada gerakan *heave* dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 45°, 90°, 135°, dan 180°. Berdasarkan gambar juga dapat diketahui bahwa pada keadaan *heave*, RAO terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 180° pada frekuensi gelombang 0.95 rad/s dengan simpangan terjauh mencapai 1.322 m/m.



Gambar 5.9 RAO Pitch Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT

Pada Gambar 5.9 dapat dilihat *response amplitude operator* (RAO) pada gerakan *pitch* dengan variasi sudut hadap yang berbeda-beda yaitu 45°, 90°, 135°, dan 180°. Berdasarkan gambar juga dapat diketahui bahwa pada keadaan *pitch*, RAO terbesar terjadi ketika kapal mendapat gelombang dengan sudut hadap 180° pada frekuensi gelombang 0.95 rad/s dengan simpangan terjauh mencapai 5.203 °/m.

Berdasarkan hasil RAO kapal pada keadaan *heave* dan *pitch* di berbagai sudut hadap, dapat disimpulkan bahwa gerakan *heave* dan *pitch* terbesar saat sudut hadapnya 180°. Oleh karena itu, perhitungan *deck wetness* dan *bottom slamming* akan dihitung dengan menggunakan sudut hadap 180°. Untuk koordinat RAO secara detail dapat dilihat pada Lampiran B

#### 5.4 Spektrum Gelombang

Untuk mendapatkan gerakan kapal karena pengaruh gelombang, maka dilakukan perhitungan spectrum gelombang. Spektrum gelombang ITTC digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Spektrum gelombang tersebut kemudian ditransformasikan menjadi spectrum gelombang *encounter*.

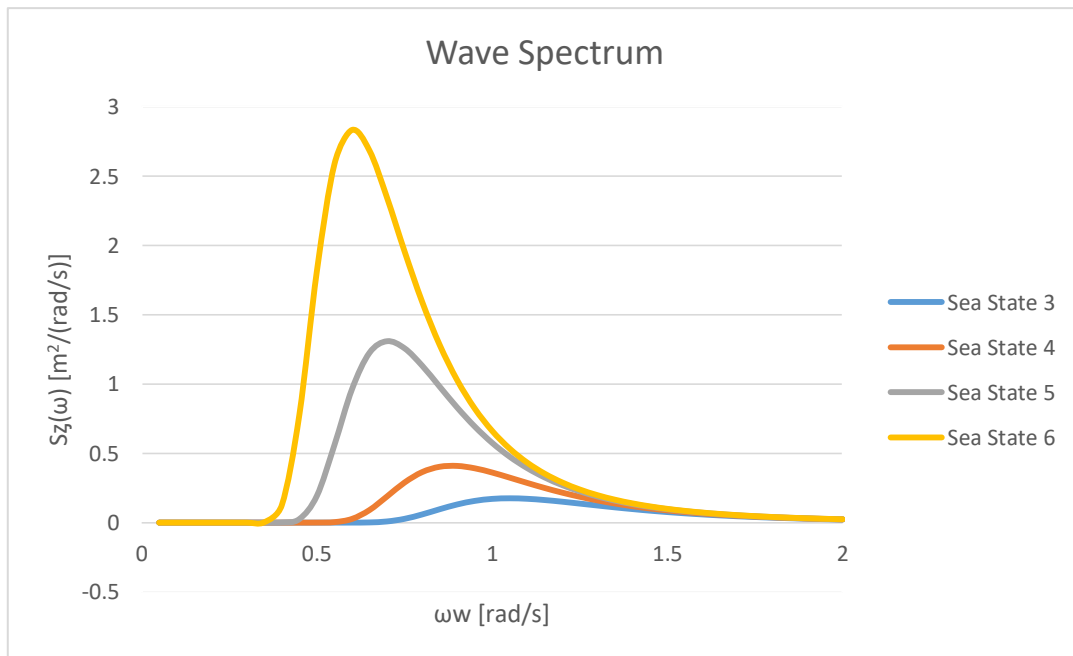
$$S(\omega_w) = \frac{0.0081g^2}{\omega_w^5} e^{-3.11/H_s^2\omega_w^4}$$

$$S(\omega_e) = S(\omega_w) \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{4\omega_e V}{g}\right) \cos\mu}}$$

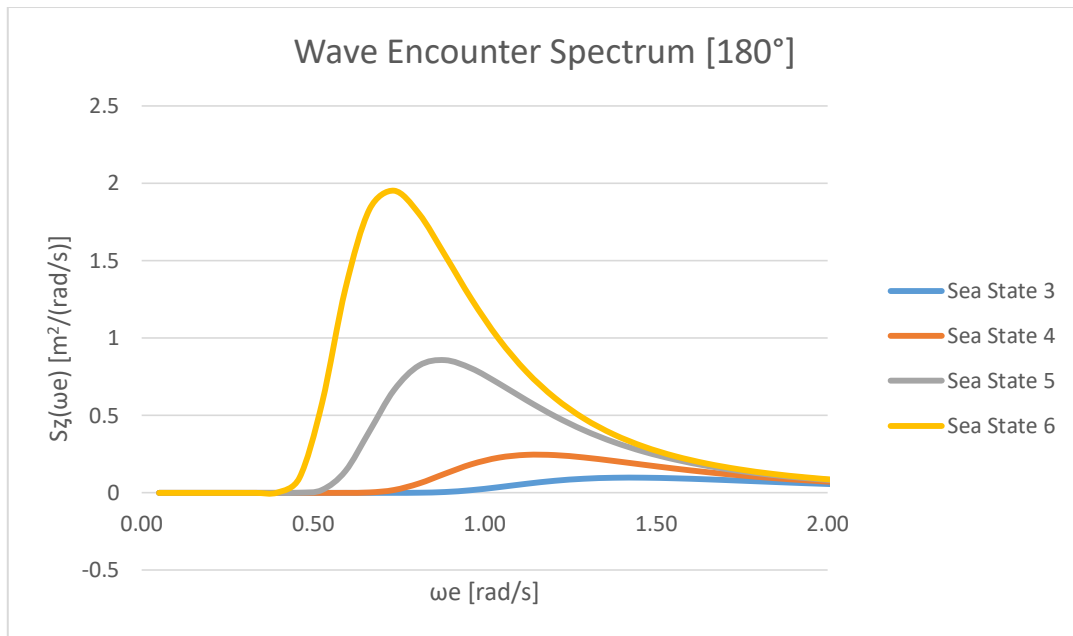
$$\omega_e = \omega_w - \frac{\omega_w^2 V}{g} \cos\mu$$

$S(\omega_w)$  merupakan *wave spectrum* dan  $S(\omega_e)$  merupakan *encounter wave spectrum*. Tinggi gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang yang didapatkan dari data *sea state* yang tertulis di buku '*Dynamics of Marine Vehicle*'. *Sea State* yang digunakan adalah *sea state* 3, 4, 5 dan 6 mempertimbangkan kondisi gelombang sesungguhnya dimana kapal berlayar yaitu perairan Maluku dengan tinggi gelombang signifikan 2.5 m.

- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $H_s = 1.433 \text{ m}, 2.012 \text{ m}, 3.200 \text{ m}, \text{ dan } 4.359 \text{ m}.$
- $\mu = 180^\circ$



Gambar 5.10 Wave Spektrum Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT



Gambar 5.11 Encounter Wave Spektrum Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT

Dari Gambar 5.10 dan 5.11 dapat dilihat bahwa spectrum gelombang dengan tinggi gelombang signifikan yang berbeda akan menghasilkan spectrum yang berbeda juga. Semakin tinggi tinggi gelombang signifikan, maka semakin besar pula spectrum yang dihasilkan. Untuk koordinat *wave spectrum* dan *encounter wave spectrum* secara detail dapat dilihat di Lampiran C dan D.

### 5.5 Relative Bow Motion Spectrum

*Relative bow motion* adalah gerakan pada bagian haluan kapal. Perhitungan *relative bow motion* diperlukan untuk menghitung *deck wetness* dan *bottom slamming*. Untuk perhitungan *relative bow motion* di gelombang irregular akan dilakukan dengan metode spectral.

$$S_s = S_z + (S_\theta \cdot X) - S_z$$

Dimana:

$S_s$  = Spectral density untuk *relative bow motion*

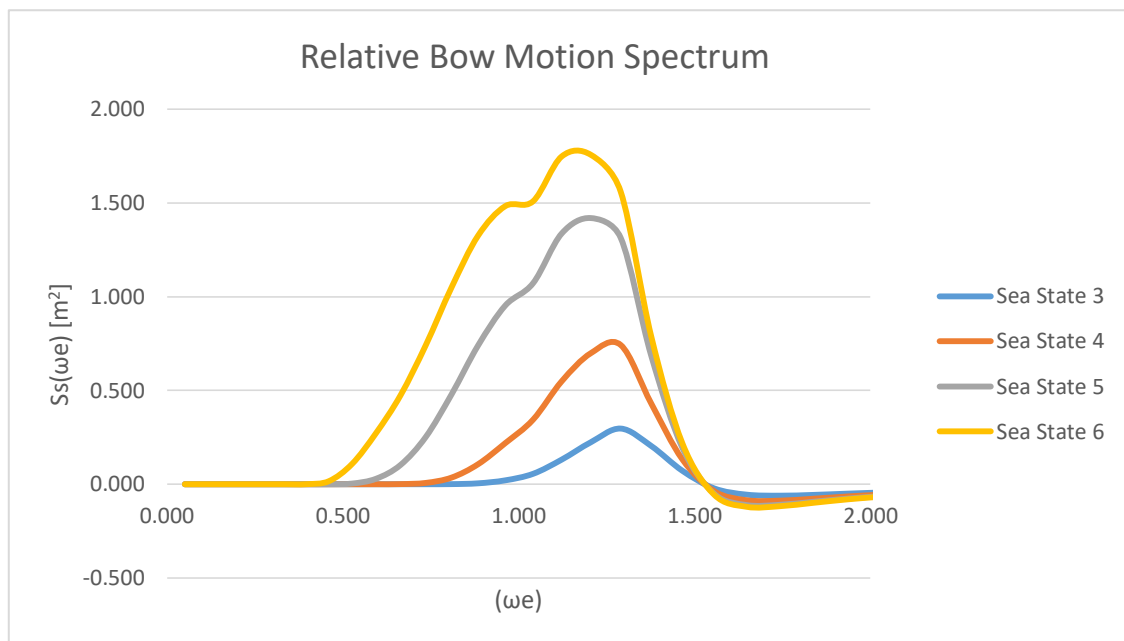
$S_z$  = Spectral density untuk *wave spectrum*



$S_z$  = *Spectral density* untuk respons spectrum gerakan *heave*

$S_\theta$  = *Spectral density* untuk respons spectrum gerakan *pitch*

$X$  = Jarak dari haluan ke CoG



Gambar 5.12 Relative Bow Motion Spectrum Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT

Dari Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa *relative bow motion spectrum* dengan tinggi gelombang signifikan yang berbeda akan menghasilkan spectrum yang berbeda juga. Semakin tinggi tinggi gelombang signifikan, maka semakin besar pula *relative bow motion spectrum* yang dihasilkan. Untuk koordinat *relative bow motion spectrum* secara detail dapat dilihat di Lampiran E.

Nilai *relative bow motion* terbesar pada *sea state* 3 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.290 rad/s sebesar 0.297. Nilai *relative bow motion* terbesar pada *sea state* 4 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.290 rad/s sebesar 0.743. Nilai *relative bow motion* terbesar pada *sea state* 5 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.205 rad/s sebesar 1.419. Nilai *relative bow motion* terbesar pada *sea state* 6 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.205 rad/s sebesar 1.757.

Luasan dari *relative bow motion spectrum* juga dihitung dengan menggunakan metode simpson untuk selanjutnya digunakan dalam perhitungan *deck wetness* dan *bottom slamming*.

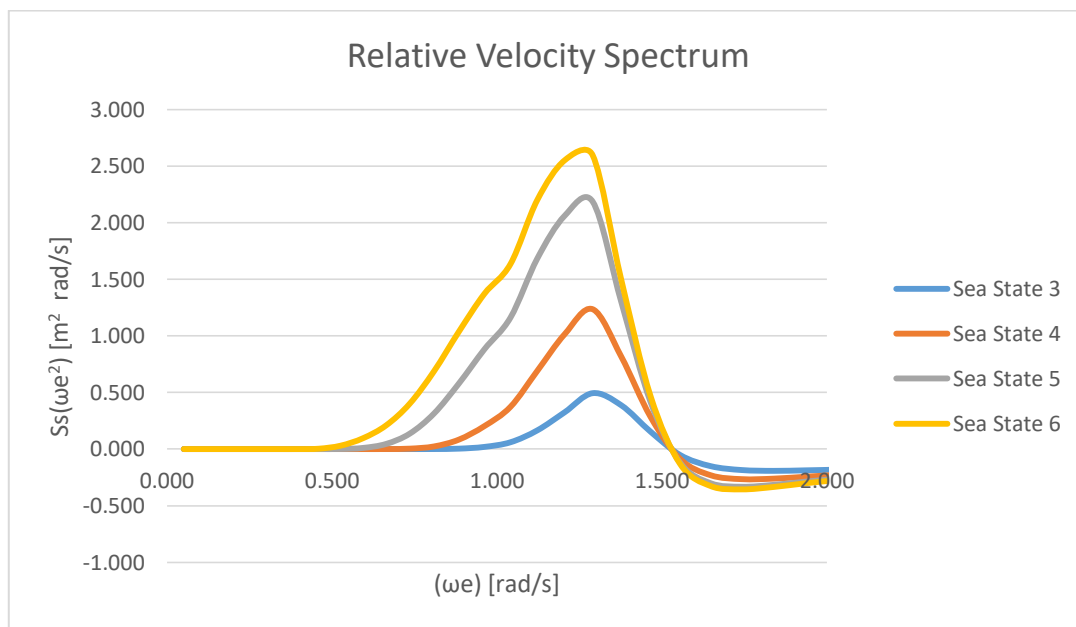
Tabel 5.1 Luasan Spektrum *Relative Bow Motion*

Sea State	Luasan Spektrum Relative Bow Motion (mo) [m <sup>2</sup> ]
3	0.062
4	0.254
5	0.722
6	1.121

## 5.6 Relative Vertical Velocity Spectrum

*Relative vertical velocity spectrum* dihitung untuk kemudian digunakan dalam perhitungan *bottom slamming*. *Relative vertical velocity spectrum* didapatkan dengan mengkalikan RAO *motion* dengan pangkat kuadrat dari frekuensi *encounter*.

$$RAO(velocity) = RAO(relative\ bow\ motion)\omega_e^2$$



Gambar 5.13 Relative Bow Velocity Spectrum Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT

Dari Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa *relative vertical velocity spectrum* dengan tinggi gelombang signifikan yang berbeda akan menghasilkan spectrum yang berbeda juga. Semakin tinggi tinggi gelombang signifikan, maka semakin besar pula *relative vertical velocity spectrum* yang dihasilkan. Untuk koordinat *relative vertical velocity spectrum* secara detail dapat dilihat di Lampiran F.

Nilai *relative bow velocity spectrum* terbesar pada *sea state* 3 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.290 rad/s sebesar 0.494. Nilai *relative bow velocity spectrum* terbesar pada *sea state* 4 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.290 rad/s sebesar 1.235. Nilai *relative bow velocity spectrum* terbesar pada *sea state* 5 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.290 rad/s sebesar 2.186. Nilai *relative bow velocity spectrum* terbesar pada *sea state* 6 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.290 rad/s sebesar 2.596.

Luasan dari *relative vertical velocity spectrum* juga dihitung dengan menggunakan metode simpson untuk selanjutnya digunakan dalam perhitungan *bottom slamming*.

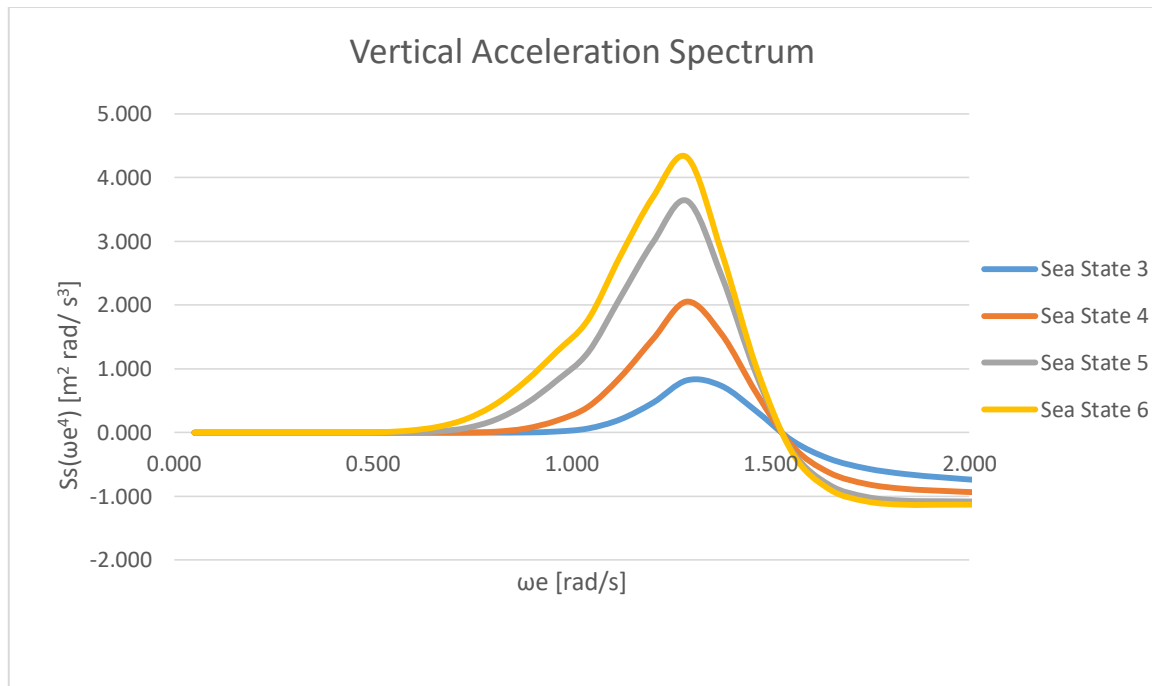
Tabel 5.2 Momen Kedua dari Spektrum Relative Bow Motion

Sea State	Momen Kedua dari Spektrum Relative Bow Motion (m2) [m <sup>2</sup> ]
3	0.050
4	0.295
5	0.809
6	1.159

## 5.7 Vertical Acceleration Spectrum

Perhitungan *vertical acceleration spectrum* didapatkan dengan mengkalikan RAO *motion* dengan pangkat empat dari frekuensi gelombang *encounter*. Nilai signifikan dari *vertical acceleration spectrum* kemudian dihitung untuk kemudian dibandingkan dengan regulasi dari IMO.

$$RAO(acceleration) = RAO(relative\ bow\ motion)\omega_e^4$$



Gambar 5.14 Vertical Acceleration Spectrum Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT

Dari Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa *vertical acceleration spectrum* dengan tinggi gelombang signifikan yang berbeda akan menghasilkan spectrum yang berbeda juga. Semakin tinggi tinggi gelombang signifikan, maka semakin besar pula *vertical acceleration spectrum* yang dihasilkan. Untuk koordinat *vertical acceleration spectrum* secara detail dapat dilihat di Lampiran G.

Nilai *vertical acceleration spectrum* terbesar pada *sea state* 3 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.290 rad/s sebesar 0.822. Nilai *vertical acceleration spectrum* terbesar pada *sea state* 4 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.290 rad/s sebesar 2.055. Nilai *vertical acceleration spectrum* terbesar pada *sea state* 5 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.290 rad/s sebesar 3.637. Nilai *vertical acceleration spectrum* terbesar pada *sea state* 6 terjadi pada frekuensi *encounter* 1.290 rad/s sebesar 4.319.

Luasan dari *vertical acceleration spectrum* juga dihitung dengan menggunakan metode simpson untuk selanjutnya digunakan dalam perhitungan akselerasi vertical signifikan.

Tabel 5.3 Momen keempat Spektrum Relative Bow Motion

Sea State	Momen Keempat dari Spektrum Relative Bow Motion (m <sup>4</sup> ) [m <sup>2</sup> ]	Akselerasi Vertikal Signifikan (m/s <sup>2</sup> )	Akselerasi Vertikal Signifikan (g)
3	0.001	0.063	0.01 g
4	0.186	0.862	0.09 g
5	0.717	1.694	0.17 g
6	1.036	2.035	0.21 g

Batasan maksimal akselerasi vertikal menurut regulasi IMO DE50 untuk kapal ferry adalah 0.15g. Berdasarkan perhitungan yang telah diringkas di tabel 5.3 diketahui bahwa kapal aman berlayar sampai dengan *sea state* 4 dengan tinggi gelombang signifikan 2.012 m, sementara pada *sea state* 5 dan seterusnya sudah tidak memenuhi standar maksimum akselerasi vertikal.

### 5.8 Deck Wetness

Setelah dilakukan perhitungan *relative bow motion* spectrum, maka selanjutnya dilakukan perhitungan probabilitas *deck wetness* dengan langkah yang dapat di lihat di Lampiran H.

Pada Lampiran H diberikan perhitungan probabilitas *deck wetness* untuk *sea state* 3, 4, 5, dan 6. Rekapitulasi dari hasil perhitungan probabilitas *deck wetness* untuk masing-masing *sea state* dapat dilihat pada tabel 5.4

Tabel 5.4 Probabilitas Deck Wetness

Sea State	P (Deck Wetness)
Sea State 3	0.009
Sea State 4	0.317
Sea State 5	0.668
Sea State 6	0.771

Berdasarkan tabel diketahui bahwa nilai probabilitas *deck wetness* bertambah seiring dengan pertambahan *sea state*. Dimana pada *sea state* 3 atau tinggi gelombang signifikan 1.433 m, *deck wetness* hampir sangat jarang terjadi dengan probabilitas sebesar 0.9%. Pada *sea state* 4 dengan tinggi gelombang signifikan 2.012 m, *deck wetness* terjadi dengan probabilitas sebesar 31.7%. Pada *sea state* 5 dengan tinggi gelombang signifikan 3.200 m, *deck wetness* terjadi dengan probabilitas sebesar 66.8%. Pada *sea state* 6 dengan tinggi gelombang signifikan 4.359 m, *deck wetness* terjadi dengan probabilitas sebesar 77.1%.

## 5.9 Bottom Slamming

Setelah dilakukan perhitungan *relative bow motion* dan *relative vertical velocity spectrum*, maka selanjutnya dilakukan perhitungan probabilitas *bottom slamming* dengan langkah seperti di Lampiran I.

Pada Lampiran I diberikan perhitungan probabilitas *bottom slamming* untuk *sea state* 3, 4, 5, dan 6. Rekapitulasi dari hasil perhitungan probabilitas *bottom slamming* untuk masing-masing *sea state* dapat dilihat pada tabel.

Tabel 5.5 Probabilitas *Bottom Slamming*

Sea State	P (Bottom Slamming)
Sea State 3	0.000
Sea State 4	0.000
Sea State 5	0.003
Sea State 6	0.022

Berdasarkan Tabel 5.5 diketahui bahwa nilai probabilitas *bottom slamming* bertambah seiring dengan pertambahan *sea state*. Dimana pada *sea state* 3 atau tinggi gelombang signifikan 1.433 m, *bottom slamming* hampir sangat jarang terjadi dengan probabilitas sebesar  $3.1\text{E-}34\%$ . Pada *sea state* 4 dengan tinggi gelombang signifikan 2.012 m, *bottom slamming* terjadi dengan probabilitas sebesar  $1.2\text{E-}07\%$ . Pada *sea state* 5 dengan tinggi gelombang signifikan 3.200 m, *deck wetness* terjadi dengan probabilitas sebesar 0.3%. Pada *sea state* 6 dengan tinggi gelombang signifikan 4.359 m, *deck wetness* terjadi dengan probabilitas sebesar 2.2%. Dapat disimpulkan bahwa kapal ferry ro-ro hampir tidak mengalami *bottom slamming* di semua *sea state* yang dianalisis.

## 5.10 Bottom Pressure

Proses perhitungan RAO dari kapal ferry ro-ro 500 GT ini dilakukan dengan menggunakan *software* Ansys Aqwa. Analisis *bottom pressure* dihitung dengan mempertimbangkan variasi sudut hadap yaitu  $180^\circ$ , dengan kecepatan 13 knots dan dilakukan pada masing-masing *sea state*. Hasil dari *bottom pressure* maksimal pada daerah *fore peak* dapat dilihat pada tabel 5.6:

Tabel 5.6 *Bottom Pressure* Kapal Ferry Ro-Ro

Sea State	Bottom Pressure [Pa]
Sea State 3	20482
Sea State 4	28757
Sea State 5	45737
Sea State 6	62302

Berdasarkan perhitungan ari BKI diketahui bahwa besarnya nilai maksimal *bottom pressure* akibat *slamming* pada daerah *fore peak* adalah:

Design bottom slamming pressure				
$P_{SL} = 162 \sqrt{L} c_1 c_{SL} c_A c_s$		kN/m2		
L	=	44	m	
c1	=	$3.6 - 6.5 \left[ \frac{T_b}{L} \right]^{0.2}$	=	0.046057
Tb	=	Smallest design ballast draught at F.P for normal ballast condition		= 2.15
$c_{SL}$	=	Distribution factor	=	1
Cb	=	0.726		
C2	=	$0.33 \times Cb + L/2500$	=	0.25718
$c_A$	=	1		
$c_{RW}$	=	0.75		
$c_s$	=	$(1 + C_{rw}) / 2$	=	0.875
$P_{SL}$	=	$162 \sqrt{L} c_1 c_{SL} c_A c_s$		
	=	43.305	kN/m2	
	=	43305.274	Pa	

Gambar 5.15 Perhitungan *design bottom slamming pressure*

Diketahui dari perhitungan berdasarkan BKI dan perhitungan di Aqwa bahwa semua *bottom pressure* yang dihasilkan di tiap-tiap *sea state* yang dihitung memenuhi standar maksimum beban yang disyaratkan oleh BKI.

### 5.11 Analisis *Freeboard*

Pengecekan ukuran freeboard sesungguhnya yang ada di kapal perlu dibandingkan dengan ukuran freeboard minimal menurut *International Convention on Load Lines, 1996 and Protocol of 1988*. Besarnya freeboard minimal menurut perhitungan *International Convention on Load Lines, 1996 and Protocol of 1988* adalah seperti perhitungan di bawah ini:

#### Input Data

H	=	3.2 m	
d	=	$85\% \cdot H$	; H= moulded depth
	=	2.72 m	
$L_1 (1)$	=	$96\% \cdot LWL_{0.85D}$	
	=	41.7139	
$L_1 (2)$	=	$L_{PP}$	
	=	42.6 m	
$L_1$	=	42.6 m	; $L_1$ diambil yang terbesar
B	=	12 m	
$C_B$	=	$\nabla / (L_1 \cdot B \cdot d)$	
	=	0.79	
$\ell_{FC}$	=	7.500 m	; panjang forecastle
$\ell_{PO}$	=	35.000 m	; panjang poop

#### Tipe Kapal

*International Convention on Load Line 1996*  
as modified 1998 and 2003 - Regulation 27 Type of Ship

**Tipe = B**

#### Lambung Timbul Standar ( $F_b$ )

*International Convention on Load Line 1996*  
as modified 1998 and 2003 - Table 28.2

$L_1$ (m)	$\Rightarrow$	$F_b$ (mm)
42	$\Rightarrow$	354 mm
43	$\Rightarrow$	364 m
<i>interpolasi</i>		
42.6	$\Rightarrow$	360.000 mm
	$\Rightarrow$	0.3600 m



## Koreksi

1.  $C_B$  ;  $C_B > 0.68$

$$\begin{aligned} F_{b2} &= F_b \cdot (C_B + 0.68) / 1.36 \\ &= \text{tidak ada koreksi} \\ &= 0 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Depth (D)

$$\begin{aligned} L/15 &= 2.840 \\ R &= 88.75 \text{ mm} \end{aligned}$$

untuk  $L < 120\text{m}$  ;  $R = L/0.48$

untuk  $L > 120\text{m}$  ;  $R = 250$

jika,  $D < L/15$  ; tidak ada koreksi

jika,  $D > L/15$  ;  $Fb_3 = Fb_2 + (R(H - (L/15)))$

$$F_{b3} = 0 \text{ mm}$$

## Koreksi Bangunan Atas

1. Forecastle

$$\begin{aligned} L_1 \text{ (m)} &\Rightarrow h_{st} \text{ (m)} \\ 75 &\Rightarrow 1.8 \\ 125 &\Rightarrow 2.3 \\ \text{interpolasi} \\ 42.6 &\Rightarrow 1.476 \text{ m} \end{aligned}$$

$$t_{FC} = 2.5 \text{ m}$$

karena  $t_{FC} > h_{st}$  maka

$$\begin{aligned} E_{FC} &= S_{FC} \\ &= 7.5 \text{ m} \\ &= 0.17606 \cdot L \end{aligned}$$

2. Poop

$$\begin{aligned} L_1 \text{ (m)} &\Rightarrow h_{st} \text{ (m)} \\ 75 &\Rightarrow 1.8 \\ 125 &\Rightarrow 2.3 \\ \text{interpolasi} \\ 42.6 &\Rightarrow 1.476 \text{ m} \end{aligned}$$

$$t_{PO} = 2.5 \text{ m}$$

karena  $t_{PO} > h_{st}$  maka

$$\begin{aligned} E_{PO} &= S_{PO} \\ &= 35 \text{ m} \end{aligned}$$

### Total Panjang Efektif

$$\begin{aligned} E &= E_{FC} + E_{PO} \\ &= 42.5 \text{ m} \\ &= 0.99765 \cdot L \end{aligned}$$

### 3. Pengurangan Akibat Bangunan Atas

$$\begin{aligned} L_1 \text{ (m)} &\Rightarrow h_{st} \text{ (m)} \\ 24 &\Rightarrow 350 \quad ; \text{ regulation 37} \\ 85 &\Rightarrow 860 \\ \text{interpolasi} \\ 42.6 &\Rightarrow 505.508 \quad ; \text{ regulation 37 table 37.1} \end{aligned}$$

Pengurangan

$$\begin{aligned} &= 14\% \cdot 853,633 \\ &= 70.771 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Total Lambung Timbul

$$\begin{aligned} F_b' &= F_b - \text{Pengurangan} \\ &= 289.229 \text{ mm} \\ &= 0.289 \text{ m} \end{aligned}$$

### Ketinggian Bow Minimum ( $B_{WM}$ )

$$\begin{aligned} C_{B \min} &= 0.68 \\ C_B &= 0.79 \\ B_{WM} &= 56L \left( 1 - \frac{L}{500} \right) \left( \frac{1.36}{C_b + 0.68} \right) \\ &= 2019.04 \text{ mm} \\ &= 2.019 \text{ m} \end{aligned}$$

## IMO Freeboard Regulation

### Batasan

#### 1. Lambung Timbul Sebenarnya

$$\begin{aligned} F_{ba} &= H - T \\ &= 1.05 \text{ m} \end{aligned}$$

*Lambung Timbul Sebenarnya harus lebih besar dari Lambung Timbul Total*

**Kondisi = Diterima**

#### 2. Ketinggian Bow

$$\begin{aligned} \text{Bow Height} &= F_{ba} + S_F + T_{FC} \\ &= 3.550 \text{ m} \end{aligned}$$

*Ketinggian Bow harus lebih besar dari Ketinggian Bow Minimum*

**Kondisi = Diterima**

Dari hasil perhitungan menurut *International Convention on Load Lines, 1996 and Protocol of 1988* tersebut diketahui bahwa freeboard menurut perhitungan adalah 0.289 m dan freeboard kapal sesungguhnya adalah 1.05 m, maka Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT ini telah memenuhi IMO Freeboard Regulation.

### 5.12 Efek Dinamis

Tekanan akibat *slamming* adalah fungsi yang bergantung terhadap waktu. Impuls adalah efek dinamis akibat dari *slamming*. Perhitungann impuls dapat dilakukan dengan menggunakan rumus

$$I = m \times v$$

Dimana,

I = Impuls [kg.m/s]

m = massa kapal sampai 0.25L dari FP [kg]

v = kecepatan relative kapal [m/s]

Perhitungan impuls dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut:

Tabel 5.7 Impuls kapal ferry ro-ro 500 GT

Sea State	Momen Kedua dari Spektrum Relative Bow Motion (m2) [m <sup>2</sup> ]	Kecepatan relatif (m/s)	Massa (kg)	Impuls (kg.m/s)
3	0.050235857	0.448	163839	73443.6398
4	0.294673258	1.086	163839	177876.119
5	0.808893832	1.799	163839	294708.761
6	1.158790032	2.153	163839	352735.897

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Ansys Aqwa telah sukses digunakan untuk mendapatkan hasil RAO, RAO kemudian dikonversi menjadi respons spectrum dengan cara mengalikan dengan spectrum gelombang. Dari hasil respons spektrum yang didapatkan dari *software* Ansys Aqwa, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Validasi perhitungan numerik Ansys Aqwa dengan WAMIT sudah sama dan hasil perhitungan Aqwa bisa dikatakan valid.
2. Probabilitas *deck wetness* dari kapal ferry ro-ro untuk *sea state* 3 adalah 0.9%, untuk *sea state* 4 adalah 31.7%, untuk *sea state* 5 adalah 66.8%, untuk *sea state* 6 adalah 77.1%.
3. Probabilitas *bottom slamming* dari kapal ferry ro-ro untuk *sea state* 3 adalah 0%, untuk *sea state* 4 adalah 0%, untuk *sea state* 5 adalah 0.3% untuk *sea state* 6 adalah 2.2%.
4. Besarnya akselerasi vertikal dari kapal ferry untuk *sea state* 3 adalah 0.01g, untuk *sea state* 4 adalah 0.09g, untuk *sea state* 5 adalah 0.17g dan untuk *sea state* 6 adalah 0.21g. Batas maksimal percepatan vertikal menurut IMO adalah 0.15g, sehingga besarnya akselerasi vertikal pada *sea state* 5 dan 6 sudah tidak memenuhi regulasi IMO.
5. Besarnya *bottom pressure* dari kapal ferry untuk untuk *sea state* 3 adalah 20482 Pa, untuk *sea state* 4 adalah 28757 Pa, untuk *sea state* 5 adalah 45737 Pa dan untuk *sea state* 6 adalah 62302 Pa. Batas *design bottom slamming pressure* menurut BKI adalah 43305.274 Pa sehingga besarnya *bottom pressure* pada *sea state* 6 sudah tidak memenuhi
6. Besarnya *freeboard* sesungguhnya kapal adalah 1.05 m, nilai tersebut telah memenuhi ukuran *freeboard* minimal menurut IMO yaitu 0.289 m.
7. Besarnya impuls kapal pada *sea state* 3 adalah 74554.6398 kg.m/s, pada *sea state* 4 adalah 177876.119 kg.m/s, pada *sea state* 5 adalah 294708.761 kg.m/s, dan pada *sea state* 6 adalah 352735.897 kg.m/s.
8. Dari segi akselerasi vertikal, kapal memenuhi standard IMO untuk berlayar sampai dengan *sea state* 4, sedangkan dari segi *bottom pressure*, kapal memenuhi standard BKI

untuk berlayar sampai dengan *sea state* 5. Maka dapat disimpulkan bahwa kapal aman berlayar sampai dengan *sea state* 4.

## 6.2 Saran

Dalam penelitian ini masih ada kekurangan-kekurangan yang terjadi, oleh karena masih banyaknya pokok bahasan yang akan diteliti dan dikembangkan lagi, selain itu untuk saran pada penelitian selanjutnya, adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan RAO hanya menggunakan *software* Ansys Aqwa, selanjutnya sebaiknya dibandingkan juga dengan RAO hasil eksperimen.
2. Perhitungan *deck wetness*, *bottom slamming*, akselerasi vertikal, *bottom pressure* hanya dilakukan pada sudut  $180^\circ$  dengan kecepatan dinas kapal dan 4 variasi *sea state*. Untuk selanjutnya, sebaiknya dilakukan perhitungan pada berbagai sudut, kecepatan, dan *sea state*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharya, R., 1978. *Dynamic of Marine Vehicles*. New York, United State of America.
- Fatnanta, F., 2009. *Kajian Perilaku Transmisi dan Stabilitas Pemecah Gelombang Kantong Pasir tipe Tenggelam*. Disertasi., ITS Surabaya
- Iswara, N. K., 2014. Evaluasi Aspek Greenwater pada Perancangan Drillship Displasemen 35000 Ton. Jurnal POMITS. ITS. Surabaya
- IMO, 2000. *CORRESPONDENCE GROUP ON GUIDELINES FOR OPERATING LIMITATIONS*. United Kingdom.
- McDermott, J.R., 2000. WAMIT-MOSES Hydrodynamic Analysis Comparison Study, United States of America.
- Putra, F. C., 2014. Evaluasi Aspek Slamming pada Perancangan Drillship Displasemen 35000 Ton. Jurnal POMITS. ITS. Surabaya.
- Tahlil, C. N., 2005. *Prediksi Deck Wetness di Gelombang Reguler*. Laporan Tugas Akhir. Jurusan Teknik Perkapalan. ITS. Surabaya.
- <http://www.marin.nl/web/Research-Topics/Loads-responses/Green-water-loads.htm> (diakses 06/09/2016)
- <http://julianagusirwanto.blogspot.co.id/2014/02/jenis-jenis-kapal-dan-fungsinya.html> (diakses 06/09/2016)

**LAMPIRAN A**  
**DATA VALIDASI ANSYS AQWA – WAMIT**

ANSYS AQWA						
Periode	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
6	1.90851E-02	1.58347E-02	2.03212E-03	1.4972E-02	1.94E-03	1.71722E-03
8	7.99165E-02	5.66548E-02	9.01674E-03	6.5453E-02	1.26E-02	0.01426
10	4.28179E-02	4.38577E-02	2.62744E-03	0.04702	0.18891	0.30014
12	0.20026	0.22415	0.49414	0.20666	1.087999	0.38818
14	0.29182	0.34303	1.68387	0.26511	1.68278	0.38158
16	0.41551	0.42697	1.24481	0.27651	0.71185	0.34372
18	0.48698	0.48814	1.10402	0.26645	0.50633	0.29941
20	0.53725	0.53277	1.04996	0.24711	0.39852	0.25819
22	0.57334	0.56579	1.02568	0.22494	0.32704	0.22277
24	0.60008	0.59107	1.01332	0.20313	0.27491	0.19337
26	0.62154	0.61191	1.00833	0.18325	0.23567	0.16954
28	0.64001	0.63032	1.00504	0.16573	0.20496	0.15045
30	0.65761	0.64815	1.00318	0.15067	0.18074	0.13535
32	0.67555	0.66645	1.00207	0.13783	0.16138	0.12344
34	0.69447	0.68577	1.00139	0.12692	0.14571	0.11406
36	0.71461	0.70631	1.00096	0.11761	0.13285	0.10661
38	0.73598	0.72807	1.00067	0.10962	0.12214	0.10063
40	0.75851	0.75096	1.00048	0.10268	0.11311	9.58053E-02
42	0.78206	0.77486	1.00035	9.66322E-02	0.150538	9.18461E-02

WAMITS						
Periode	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
6	2.20E-02	1.73E-02	0.00E+00	9.59E-03	0.00E+00	3.37E-03
8	8.31E-02	5.90E-02	1.08E-02	4.44E-02	0.00E+00	1.41E-02
10	4.40E-02	4.71E-02	2.70E-02	3.49E-02	1.16E-01	2.72E-01
12	2.04E-01	2.32E-01	5.00E-01	1.56E-01	4.18E-01	3.61E-01
14	2.38E-01	3.52E-01	1.71E+00	2.07E-01	2.06E+00	3.51E-01
16	4.33E-01	4.39E-01	1.25E+00	2.22E-01	1.44E+00	3.12E-01
18	5.01E-01	5.00E-01	1.11E+00	2.21E-01	7.17E-01	2.69E-01
20	5.45E-01	5.42E-01	1.05E+00	2.09E-01	5.01E-01	2.32E-01
22	5.78E-01	5.72E-01	1.03E+00	1.93E-01	3.81E-01	2.00E-01
24	6.06E-01	5.95E-01	1.01E+00	1.79E-01	3.09E-01	1.73E-01
26	6.24E-01	6.12E-01	1.01E+00	1.62E-01	2.66E-01	1.50E-01
28	6.40E-01	6.26E-01	1.00E+00	1.48E-01	2.22E-01	1.32E-01
30	6.52E-01	6.39E-01	1.00E+00	1.35E-01	1.92E-01	1.16E-01
32	6.58E-01	6.49E-01	1.00E+00	1.22E-01	1.64E-01	1.04E-01
34	6.65E-01	6.55E-01	1.00E+00	1.11E-01	1.48E-01	9.18E-02
36	6.70E-01	6.63E-01	1.00E+00	1.02E-01	1.31E-01	8.33E-02
38	6.76E-01	6.67E-01	1.00E+00	9.42E-02	1.16E-01	7.52E-02
40	6.79E-01	6.72E-01	1.00E+00	8.67E-02	1.06E-01	6.77E-02
42	6.86E-01	6.76E-01	1.00E+00	7.94E-02	9.46E-02	6.23E-02



LAMPIRAN B  
RAO KAPAL FERRY RO-RO 500 GT

Angle: 45°		
Frequency (rad/s)	Heave (m/m)	Pitch (°/m)
0.05	1.001	0.18
0.1	1.002	0.367
0.15	1.006	0.578
0.2	1.01	0.823
0.25	1.015	1.102
0.3	1.02	1.405
0.35	1.024	1.721
0.4	1.026	2.048
0.45	1.023	2.378
0.5	1.016	2.702
0.55	1.004	3.014
0.6	0.984	3.306
0.65	0.957	3.568
0.7	0.922	3.795
0.75	0.879	3.979
0.8	0.829	4.112
0.85	0.772	4.191
0.9	0.708	4.211
0.95	0.639	4.169
1	0.566	4.063
1.05	0.49	3.896
1.1	0.413	3.669
1.15	0.336	3.387
1.2	0.261	3.058
1.25	0.191	2.692
1.3	0.126	2.299
1.35	6.80E-02	1.892
1.4	2.08E-02	1.486
1.45	2.38E-02	1.093
1.5	5.18E-02	0.728
1.55	7.07E-02	0.411
1.6	8.05E-02	0.205
1.65	8.22E-02	0.273
1.7	0.077	0.439
1.75	0.068	0.578
1.8	5.55E-02	0.671
1.85	4.18E-02	0.712
1.9	2.88E-02	0.704
1.95	2.02E-02	0.647
2	2.19E-02	0.549

Angle: 90°		
Frequency (rad/s)	Heave (m/m)	Pitch (°/m)
0.05	1	0.151
0.1	1.003	0.306
0.15	1.007	0.477
0.2	1.013	0.668
0.25	1.021	0.871
0.3	1.032	1.081
0.35	1.042	1.296
0.4	1.05	1.513
0.45	1.054	1.727
0.5	1.051	1.933
0.55	1.038	2.124
0.6	1.014	2.294
0.65	0.978	2.435
0.7	0.932	2.544
0.75	0.879	2.619
0.8	0.827	2.667
0.85	0.781	2.69
0.9	0.744	2.708
0.95	0.719	2.717
1	0.705	2.722
1.05	0.699	2.724
1.1	0.702	2.721
1.15	0.709	2.714
1.2	0.717	2.704
1.25	0.726	2.696
1.3	0.734	2.692
1.35	0.741	2.692
1.4	0.747	2.694
1.45	0.754	2.687
1.5	0.758	2.653
1.55	0.756	2.564
1.6	0.737	2.394
1.65	0.696	2.138
1.7	0.633	1.826
1.75	0.559	1.506
1.8	0.484	1.215
1.85	0.415	0.973
1.9	0.355	0.779
1.95	0.304	0.627
2	0.261	0.509

Angle: 135°		
Frequency (rad/s)	Heave (m/m)	Pitch (°/m)
0.05	1.001	0.121
0.1	1.003	0.243
0.15	1.008	0.375
0.2	1.016	0.511
0.25	1.026	0.637
0.3	1.037	0.761
0.35	1.047	0.895
0.4	1.049	1.05
0.45	1.038	1.241
0.5	1.008	1.474
0.55	0.958	1.749
0.6	0.899	2.049
0.65	0.849	2.361
0.7	0.824	2.678
0.75	0.828	2.999
0.8	0.903	3.318
0.85	0.989	3.631
0.9	1.093	3.954
0.95	1.182	4.321
1	1.116	4.729
1.05	0.998	5.014
1.1	0.869	4.749
1.15	0.619	3.791
1.2	0.379	2.686
1.25	0.216	1.809
1.3	0.123	1.186
1.35	8.45E-02	0.765
1.4	8.42E-02	0.437
1.45	0.169	0.76
1.5	6.18E-02	0.421
1.55	5.05E-02	0.398
1.6	4.38E-02	0.402
1.65	2.62E-02	0.325
1.7	1.50E-02	0.293
1.75	0.018	0.206
1.8	4.27E-03	9.67E-02
1.85	0.021	8.42E-02
1.9	2.27E-02	7.68E-02
1.95	1.93E-02	0.143
2	1.81E-02	0.116

Angle: 180°		
Frequency (rad/s)	Heave (m/m)	Pitch (°/m)
0.05	1.001	0.108
0.1	1.003	0.217
0.15	1.009	0.332
0.2	1.017	0.445
0.25	1.027	0.543
0.3	1.038	0.643
0.35	1.044	0.774
0.4	1.039	0.967
0.45	1.016	1.244
0.5	0.968	1.607
0.55	0.906	2.031
0.6	0.854	2.477
0.65	0.832	2.919
0.7	0.845	3.347
0.75	0.88	3.741
0.8	0.921	4.097
0.85	1.163	4.455
0.9	1.295	4.862
0.95	1.322	5.203
1	0.829	4.931
1.05	0.526	3.721
1.1	0.258	2.363
1.15	0.106	1.359
1.2	6.28E-02	0.698
1.25	7.40E-02	0.312
1.3	0.07	0.324
1.35	6.42E-02	0.355
1.4	4.98E-02	0.417
1.45	3.25E-02	0.378
1.5	2.17E-02	0.295
1.55	0.014	0.212
1.6	1.92E-02	0.15
1.65	2.40E-02	7.88E-02
1.7	2.41E-02	0.109
1.75	2.18E-02	0.133
1.8	1.58E-02	0.154
1.85	6.60E-03	0.156
1.9	5.07E-03	0.097
1.95	6.84E-03	7.89E-02
2	1.10E-02	3.60E-02

LAMPIRAN C  
WAVE SPECTRUM

Wave Frequency ( $\omega$ ) [rad/s]	Wave Spectrum ( $S_z(\omega)$ )			
	Sea State 3	Sea State 4	Sea State 5	Sea State 6
	1.433 m	2.012 m	3.200 m	4.359 m
0.05	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.15	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.35	0.00000	0.00000	0.00000	0.00271
0.4	0.00000	0.00000	0.00054	0.12716
0.45	0.00000	0.00000	0.02570	0.77980
0.5	0.00000	0.00011	0.19369	1.81737
0.55	0.00000	0.00349	0.56097	2.58858
0.6	0.00008	0.02666	0.96288	2.83459
0.65	0.00138	0.09069	1.22612	2.68519
0.7	0.00842	0.18892	1.30953	2.34544
0.75	0.02732	0.28953	1.25821	1.95803
0.8	0.05883	0.36437	1.13353	1.59514
0.85	0.09637	0.40305	0.98200	1.28390
0.9	0.13107	0.40918	0.83104	1.02861
0.95	0.15674	0.39214	0.69392	0.82398
1	0.17127	0.36147	0.57538	0.66180
1.05	0.17556	0.32456	0.47576	0.53381
1.1	0.17193	0.28635	0.39336	0.43281
1.15	0.16294	0.24975	0.32579	0.35293
1.2	0.15084	0.21625	0.27060	0.28949
1.25	0.13731	0.18645	0.22556	0.23886
1.3	0.12350	0.16042	0.18877	0.19825
1.35	0.11016	0.13793	0.15865	0.16548
1.4	0.09769	0.11866	0.13392	0.13889
1.45	0.08632	0.10221	0.11354	0.11719
1.5	0.07610	0.08819	0.09668	0.09939
1.55	0.06701	0.07627	0.08266	0.08469
1.6	0.05899	0.06611	0.07097	0.07251
1.65	0.05195	0.05746	0.06118	0.06235
1.7	0.04579	0.05007	0.05294	0.05384
1.75	0.04041	0.04376	0.04598	0.04667
1.8	0.03571	0.03834	0.04008	0.04062
1.85	0.03161	0.03369	0.03505	0.03547
1.9	0.02803	0.02968	0.03076	0.03109
1.95	0.02490	0.02622	0.02707	0.02734
2	0.02216	0.02322	0.02390	0.02411

LAMPIRAN D  
ENCOUNTER WAVE SPECTRUM



Angle : 180		Speed : 6.173 m/s		
Encounter Wave Frequency ( $\omega_e$ ) [rad/s]	$S_z(\omega_e)$			
	Sea State 3	Sea State 4	Sea State 5	Sea State 6
	1.433 m	2.012 m	3.200 m	4.359 m
0.05	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.27	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.33	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021
0.46	0.0000	0.0000	0.0004	0.0977
0.53	0.0000	0.0000	0.0192	0.5824
0.59	0.0000	0.0001	0.1407	1.3202
0.66	0.0000	0.0025	0.3967	1.8304
0.74	0.0001	0.0184	0.6632	1.9523
0.81	0.0009	0.0609	0.8231	1.8027
0.88	0.0055	0.1237	0.8575	1.5358
0.96	0.0175	0.1850	0.8040	1.2512
1.04	0.0367	0.2274	0.7073	0.9954
1.12	0.0588	0.2457	0.5987	0.7828
1.21	0.0781	0.2439	0.4953	0.6130
1.29	0.0914	0.2286	0.4045	0.4803
1.38	0.0977	0.2062	0.3282	0.3775
1.47	0.0980	0.1812	0.2657	0.2981
1.56	0.0940	0.1566	0.2151	0.2367
1.65	0.0873	0.1338	0.1746	0.1891
1.74	0.0792	0.1136	0.1421	0.1521
1.84	0.0707	0.0960	0.1162	0.1230
1.94	0.0624	0.0811	0.0954	0.1002
2.04	0.0546	0.0684	0.0787	0.0821
2.14	0.0476	0.0578	0.0652	0.0676
2.24	0.0413	0.0489	0.0543	0.0560
2.35	0.0357	0.0414	0.0454	0.0467
2.45	0.0309	0.0352	0.0381	0.0391
2.56	0.0268	0.0300	0.0322	0.0329
2.68	0.0232	0.0256	0.0273	0.0278
2.79	0.0201	0.0220	0.0232	0.0236
2.90	0.0174	0.0189	0.0198	0.0201
3.02	0.0152	0.0163	0.0170	0.0172
3.14	0.0132	0.0141	0.0146	0.0148
3.26	0.0115	0.0122	0.0127	0.0128
3.38	0.0101	0.0106	0.0110	0.0111
3.51	0.0088	0.0093	0.0095	0.0096

LAMPIRAN E  
RELATIVE BOW MOTION SPECTRUM

Sea State 3	
X ( $\omega e$ )	Y (Ss( $\omega e$ ))
0.051	0.000
0.104	0.000
0.158	0.000
0.215	0.000
0.274	0.000
0.334	0.000
0.396	0.000
0.460	0.000
0.526	0.000
0.594	0.000
0.664	0.000
0.736	0.000
0.809	0.001
0.885	0.005
0.962	0.021
1.041	0.056
1.122	0.131
1.205	0.224
1.290	0.297
1.377	0.204
1.465	0.072
1.556	-0.022
1.648	-0.056
1.742	-0.061
1.838	-0.057
1.936	-0.050
2.036	-0.044
2.138	-0.038

Sea State 4	
X ( $\omega e$ )	Y (Ss( $\omega e$ ))
0.051	0.000
0.104	0.000
0.158	0.000
0.215	0.000
0.274	0.000
0.334	0.000
0.396	0.000
0.460	0.000
0.526	0.000
0.594	0.000
0.664	0.001
0.736	0.007
0.809	0.035
0.885	0.107
0.962	0.219
1.041	0.345
1.122	0.549
1.205	0.699
1.290	0.743
1.377	0.431
1.465	0.133
1.556	-0.037
1.648	-0.085
1.742	-0.088
1.838	-0.077
1.936	-0.065
2.036	-0.055
2.138	-0.046

Sea State 5	
X ( $\omega e$ )	Y (Ss( $\omega e$ ))
0.051	0.000
0.104	0.000
0.158	0.000
0.215	0.000
0.274	0.000
0.334	0.000
0.396	0.000
0.460	0.000
0.526	0.004
0.594	0.029
0.664	0.103
0.736	0.252
0.809	0.479
0.885	0.740
0.962	0.953
1.041	1.072
1.122	1.337
1.205	1.419
1.290	1.314
1.377	0.686
1.465	0.195
1.556	-0.051
1.648	-0.111
1.742	-0.110
1.838	-0.093
1.936	-0.077
2.036	-0.063
2.138	-0.052

Sea State 6	
X ( $\omega e$ )	Y (Ss( $\omega e$ ))
0.051	0.000
0.104	0.000
0.158	0.000
0.215	0.000
0.274	0.000
0.334	0.000
0.396	0.000
0.460	0.016
0.526	0.108
0.594	0.272
0.664	0.474
0.736	0.741
0.809	1.050
0.885	1.325
0.962	1.483
1.041	1.509
1.122	1.747
1.205	1.757
1.290	1.560
1.377	0.789
1.465	0.218
1.556	-0.056
1.648	-0.120
1.742	-0.117
1.838	-0.099
1.936	-0.080
2.036	-0.066
2.138	-0.054

LAMPIRAN F  
RELATIVE VELOCITY SPECTRUM

Sea State 3		Sea State 4	
X ( $\omega e$ )	Y(Ss( $\omega e^2$ ))	X ( $\omega e$ )	Y(Ss( $\omega e^2$ ))
0.051	0.000	0.051	0.000
0.104	0.000	0.104	0.000
0.158	0.000	0.158	0.000
0.215	0.000	0.215	0.000
0.274	0.000	0.274	0.000
0.334	0.000	0.334	0.000
0.396	0.000	0.396	0.000
0.460	0.000	0.460	0.000
0.526	0.000	0.526	0.000
0.594	0.000	0.594	0.000
0.664	0.000	0.664	0.000
0.736	0.000	0.736	0.004
0.809	0.000	0.809	0.023
0.885	0.004	0.885	0.084
0.962	0.019	0.962	0.203
1.041	0.060	1.041	0.374
1.122	0.165	1.122	0.691
1.205	0.325	1.205	1.015
1.290	0.494	1.290	1.235
1.377	0.387	1.377	0.817
1.465	0.154	1.465	0.285
1.556	-0.054	1.556	-0.089
1.648	-0.151	1.648	-0.232
1.742	-0.185	1.742	-0.266
1.838	-0.192	1.838	-0.261
1.936	-0.188	1.936	-0.244
2.036	-0.181	2.036	-0.227
2.138	-0.173	2.138	-0.210

Sea State 5		Sea State 6	
X ( $\omega e$ )	Y(Ss( $\omega e^2$ ))	X ( $\omega e$ )	Y(Ss( $\omega e^2$ ))
0.051	0.000	0.051	0.000
0.104	0.000	0.104	0.000
0.158	0.000	0.158	0.000
0.215	0.000	0.215	0.000
0.274	0.000	0.274	0.000
0.334	0.000	0.334	0.000
0.396	0.000	0.396	0.000
0.460	0.000	0.460	0.003
0.526	0.001	0.526	0.030
0.594	0.010	0.594	0.096
0.664	0.045	0.664	0.209
0.736	0.136	0.736	0.401
0.809	0.314	0.809	0.687
0.885	0.579	0.885	1.037
0.962	0.882	0.962	1.372
1.041	1.162	1.041	1.635
1.122	1.683	1.122	2.200
1.205	2.061	1.205	2.551
1.290	2.186	1.290	2.596
1.377	1.300	1.377	1.495
1.465	0.418	1.465	0.469
1.556	-0.123	1.556	-0.135
1.648	-0.302	1.648	-0.327
1.742	-0.333	1.742	-0.356
1.838	-0.316	1.838	-0.335
1.936	-0.287	1.936	-0.301
2.036	-0.261	2.036	-0.272
2.138	-0.237	2.138	-0.246

LAMPIRAN G  
VERTICAL ACCELERATION SPECTRUM



Sea State 3		Sea State 4	
X ( $\omega e$ )	Y ( $Ss(\omega e^4)$ )	X ( $\omega e$ )	Y ( $Ss(\omega e^4)$ )
0.051	0.000	0.051	0.000
0.104	0.000	0.104	0.000
0.158	0.000	0.158	0.000
0.215	0.000	0.215	0.000
0.274	0.000	0.274	0.000
0.334	0.000	0.334	0.000
0.396	0.000	0.396	0.000
0.460	0.000	0.460	0.000
0.526	0.000	0.526	0.000
0.594	0.000	0.594	0.000
0.664	0.000	0.664	0.000
0.736	0.000	0.736	0.002
0.809	0.000	0.809	0.015
0.885	0.003	0.885	0.065
0.962	0.018	0.962	0.188
1.041	0.065	1.041	0.405
1.122	0.208	1.122	0.870
1.205	0.472	1.205	1.473
1.290	0.822	1.290	2.055
1.377	0.733	1.377	1.547
1.465	0.331	1.465	0.612
1.556	-0.130	1.556	-0.216
1.648	-0.410	1.648	-0.629
1.742	-0.563	1.742	-0.807
1.838	-0.650	1.838	-0.883
1.936	-0.704	1.936	-0.915
2.036	-0.751	2.036	-0.940
2.138	-0.790	2.138	-0.959

Sea State 5	
X ( $\omega e$ )	Y ( $Ss(\omega e^4)$ )
0.051	0.000
0.104	0.000
0.158	0.000
0.215	0.000
0.274	0.000
0.334	0.000
0.396	0.000
0.460	0.000
0.526	0.000
0.594	0.004
0.664	0.020
0.736	0.074
0.809	0.205
0.885	0.453
0.962	0.816
1.041	1.259
1.122	2.119
1.205	2.992
1.290	3.637
1.377	2.463
1.465	0.897
1.556	-0.297
1.648	-0.821
1.742	-1.010
1.838	-1.068
1.936	-1.076
2.036	-1.082
2.138	-1.083

Sea State 6	
X ( $\omega e$ )	Y ( $Ss(\omega e^4)$ )
0.051	0.000
0.104	0.000
0.158	0.000
0.215	0.000
0.274	0.000
0.334	0.000
0.396	0.000
0.460	0.001
0.526	0.008
0.594	0.034
0.664	0.092
0.736	0.217
0.809	0.450
0.885	0.811
0.962	1.269
1.041	1.772
1.122	2.770
1.205	3.704
1.290	4.319
1.377	2.833
1.465	1.006
1.556	-0.327
1.648	-0.889
1.742	-1.080
1.838	-1.131
1.936	-1.131
2.036	-1.128
2.138	-1.123

**LAMPIRAN H**  
**PERHITUNGAN DECK WETNESS**

Deck Wetness [Sea State 3]							
Formula of the probability of deck wetness							
$n$	=	$e^{-(f')^2/2mo}$					
Formula of the effective freeboard							
$f'(l)$	=	$f(l) - h_s(l)$					
$\frac{h_s}{L}$	=	$k'_1 F_n^2$					
in which,							
$f(l)$	=	actual freeboard in still water [m]		=	2.15	m	
$h_s(l)$	=	statical swell-up [m]					
$k'_1$	=	$k_1 \left(\frac{B}{L_E}\right)$					
$L$	=	ship length [m]		=	47.6	m	
$k_1$	=	0.75		=			
$B$	=	beam [m]		=	12	m	
$L_E$	=	length of entrance [m]		=	12	m	
$F_n$	=	froude number = $\frac{V}{\sqrt{gL}}$					
$V$	=	ship's speed [m/s]		=	6.173	m/s	
$g$	=	gravity's acceleration		=	9.81	m/s <sup>2</sup>	
$F_n$	=	$\frac{V}{\sqrt{gL}}$					
	=	$\frac{6.173}{\sqrt{9.81 \times 47.6}}$					
	=	0.286					
$k'_1$	=	$k_1 \left(\frac{B}{L_E}\right)$					
	=	$0.75 \left(\frac{12}{12}\right)$					
	=	0.750					
$\frac{h_s}{L}$	=	$k'_1 F_n^2$					
$\frac{h_s}{47.6}$	=	$0.750 \times 0.286^2$					
$h_s$	=	2.9132973 m					
$f'(l)$	=	$f(l) - h_s(l)$					
	=	2.15 - 2.913					
	=	-0.763					
Probability of Deck Wetness							
$n$	=	$e^{-(f')^2/2mo}$					
	=	$e^{-(-0.763)^2 \times 2(0.062)}$					
	=	0.009314					

Deck Wetness [Sea State 4]									
Formula of the probability of deck wetness									
$n = e^{-(f')^2/2m_0}$									
Formula of the effective freeboard									
$f'(l) = f(l) - h_s(l)$									
$\frac{h_s}{L} = k'_1 F_n^2$									
in which,									
$f(l)$	=	actual freeboard in still water [m]				=	2.15	m	
$h_s(l)$	=	statical swell-up [m]							
$k'_1$	=	$k_1(\frac{B}{L_E})$							
L	=	ship length [m]				=	47.6	m	
$k_1$	=	0.75				=			
B	=	beam [m]				=	12	m	
$L_E$	=	length of entrance [m]				=	12	m	
$F_n$	=	froude number = $\frac{V}{\sqrt{gL}}$							
V	=	ship's speed [m/s]				=	6.173	m/s	
g	=	gravity's acceleration				=	9.81	m/s <sup>2</sup>	
$F_n$	=	$\frac{V}{\sqrt{gL}}$							
	=	$\frac{6.173}{\sqrt{9.81 \times 47.6}}$							
	=	0.286							
$k'_1$	=	$k_1(\frac{B}{L_E})$							
	=	$0.75(\frac{12}{12})$							
	=	0.750							
$\frac{h_s}{L}$	=	$k'_1 F_n^2$							
$\frac{h_s}{47.6}$	=	$0.750 \times 0.286^2$							
$h_s$	=	2.9132973 m							
$f'(l)$	=	$f(l) - h_s(l)$							
	=	2.15 - 2.913							
	=	-0.763							
Probability of Deck Wetness									
$n$	=	$e^{-(f')^2/2m_0}$							
	=	$e^{-(-0.763)^2 \times 2(0.254)}$							
	=	0.3172679							

Deck Wetness [Sea State 5]							
Formula of the probability of deck wetness							
$n$	=	$e^{-(f')^2/2m_0}$					
Formula of the effective freeboard							
$f'(l)$	=	$f(l) - h_s(l)$					
$\frac{h_s}{L}$	=	$k'_1 F_n^2$					
in which,							
$f(l)$	=	actual freeboard in still water [m]		=	2.15	m	
$h_s(l)$	=	statical swell-up [m]					
$k'_1$	=	$k_1 \left(\frac{B}{L_E}\right)$					
L	=	ship length [m]		=	47.6	m	
$k_1$	=	0.75		=			
B	=	beam [m]		=	12	m	
$L_E$	=	length of entrance [m]		=	12	m	
$F_n$	=	froude number = $\frac{V}{\sqrt{gL}}$					
V	=	ship's speed [m/s]		=	6.173	m/s	
g	=	gravity's acceleration		=	9.81	m/s <sup>2</sup>	
$F_n$	=	$\frac{V}{\sqrt{gL}}$					
	=	$\frac{6.173}{\sqrt{9.81 \times 47.6}}$					
	=	0.286					
$k'_1$	=	$k_1 \left(\frac{B}{L_E}\right)$					
	=	$0.75 \left(\frac{12}{12}\right)$					
	=	0.750					
$\frac{h_s}{L}$	=	$k'_1 F_n^2$					
$\frac{h_s}{47.6}$	=	$0.750 \times 0.286^2$					
$h_s$	=	2.9132973 m					
$f'(l)$	=	$f(l) - h_s(l)$					
	=	2.15 - 2.913					
	=	-0.763					
Probability of Deck Wetness							
$n$	=	$e^{-(f')^2/2m_0}$					
	=	$e^{-(-0.763)^2 \times 2(0.722)}$					
	=	0.668149845					

Deck Wetness [Sea State 6]						
Formula of the probability of deck wetness						
$n = e^{-(f')^2/2m_0}$						
Formula of the effective freeboard						
$f'(l) = f(l) - h_s(l)$						
$\frac{h_s}{L} = k'_1 F_n^2$						
in which,						
$f(l)$	=	actual freeboard in still water [m]	=	2.15	m	
$h_s(l)$	=	statical swell-up [m]				
$k'_1$	=	$k_1(\frac{B}{L_E})$				
L	=	ship length [m]	=	47.6	m	
$k_1$	=	0.75	=			
B	=	beam [m]	=	12	m	
$L_E$	=	length of entrance [m]	=	12	m	
$F_n$	=	froude number = $\frac{V}{\sqrt{gL}}$				
V	=	ship's speed [m/s]	=	6.173	m/s	
g	=	gravity's acceleration	=	9.81	m/s <sup>2</sup>	
$F_n$	=	$\frac{V}{\sqrt{gL}}$				
	=	$\frac{6.173}{\sqrt{9.81 \times 47.6}}$				
	=	0.286				
$k'_1$	=	$k_1(\frac{B}{L_E})$				
	=	$0.75(\frac{12}{12})$				
	=	0.750				
$\frac{h_s}{L}$	=	$k'_1 F_n^2$				
$\frac{h_s}{47.6}$	=	$0.750 \times 0.286^2$				
$h_s$	=	2.9132973 m				
$f'(l)$	=	$f(l) - h_s(l)$				
	=	2.15 - 2.913				
	=	-0.763				
Probability of Deck Wetness						
n	=	$e^{-(f')^2/2m_0}$				
	=	$e^{-(-0.763)^2 \times 2(1.121)}$				
	=	0.771102698				

LAMPIRAN I  
PERHITUNGAN BOTTOM PRESSURE





Bottom Slamming [Sea State 5]									
Formula of the probability of bottom slamming									
$n = e^{-\left(\frac{T^2}{2m_{os}} + \frac{V_o^2}{2m_{zs}}\right)}$									
in which,									
T	=	draft [m]				=		2.15	m
$m_{os}$	=	area of the response spectrum of relative bow motion [m2]							
$m_{zs}$	=	area of the response spectrum of relative velocity [m2/s2]							
$V_o$	=	threshold velocity [m/s]				=		2.006	m/s
Probability of Bottom Slamming									
$n = e^{-\left(\frac{T^2}{2m_{os}} + \frac{V_o^2}{2m_{zs}}\right)}$									
	=	$e^{-\left(\frac{2.15^2}{2 \times 0.722} + \frac{2.006^2}{2 \times 0.809}\right)}$							
	=	0.003391							

Bottom Slamming [Sea State 6]									
Formula of the probability of bottom slamming									
$n = e^{-\left(\frac{T^2}{2m_{os}} + \frac{V_o^2}{2m_{zs}}\right)}$									
in which,									
T	=	draft [m]				=		2.15	m
$m_{os}$	=	area of the response spectrum of relative bow motion [m2]							
$m_{zs}$	=	area of the response spectrum of relative velocity [m2/s2]							
$V_o$	=	threshold velocity [m/s]				=		2.006	m/s
Probability of Bottom Slamming									
$n = e^{-\left(\frac{T^2}{2m_{os}} + \frac{V_o^2}{2m_{zs}}\right)}$									
	=	$e^{-\left(\frac{2.15^2}{2 \times 1.121} + \frac{2.006^2}{2 \times 1.159}\right)}$							
	=	0.022402							

## BIODATA PENULIS



**DEANISSA SAFIRAA** dilahirkan di Surabaya pada 09 Februari 1996. Penulis merupakan anak ke-1 dari 4 bersaudara dalam keluarga. Dibesarkan di Madiun dan mendapatkan pendidikan formal SD di Madiun, kemudian dilanjutkan di SMPN 1 Madiun dan SMAN 2 Madiun sebelum selanjutnya melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS pada tahun 2013 melalui jalur Mandiri ITS.

Di Jurusan Teknik Perkapalan, Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan-Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, Penulis aktif di kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) dan event pada tingkat jurusan. Untuk kepanitiaan dalam acara jurusan antara lain menjadi anggota panitia SAMPANESIA SAMPAN 8 ITS pada tahun 2014, koordinator konsumsi pusat SAMPAN 9 ITS pada tahun 2015, dan Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) HIMATEKPAL ITS pada tahun 2014. Selain itu, Penulis juga memiliki kesempatan untuk mengikuti beberapa pelatihan, baik pelatihan pembentukan *soft skill* seperti LKMM Pra-TD, maupun pelatihan yang menunjang kebutuhan akademis seperti pelatihan perangkat lunak AutoCAD dan Maxsurf. Selain itu penulis juga pernah menjadi *grader* mata kuliah mekanika teknik, mekanika fluida, konstruksi kapal, dan statistika dan probabilitas.

Email : deanissasafiraa@gmail.com

M : +62 822 3194 0976